

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

# NÁVRH LETOUNU VUT 022 S PROUDOVÝM POHONEM DLE PŘEDPISU CS-22

DESIGN VUT 022 AIRCRAFT WITH JET ENGINE ACCORDING TO CS-22 REGULATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. VLADIMÍR MATĚJÁK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV JURAČKA, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Vladimír Matěják

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Stavba letadel (2301T039)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

**Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22**

v anglickém jazyce:

**Design VUT 022 Aircraft with Jet Engine according to CS-22 Regulation**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V rámci práce navrhnete kompozitní konstrukci křídla dvojmístného velmi lehkého letounu s využitím konstrukce letounu VUT 001 Marabu tak, aby byly splněny požadavky předpisu CS-22.

Cíle diplomové práce:

Umístění křídla a jeho parametry navrhnete s ohledem na minimální úpravy trupu a OP. S využitím dostupných podkladů stanovte zatížení křídla a proveďte pevnostní kontrolu. Modifikujte střední část trupu tak, aby umožnila zástavbu motoru TJ 100M v konstrukci letounu.

Seznam odborné literatury:

- [1] Roskam, J., Airplane Design, University of Kansas, Lawrence, USA, 1990
- [2] Fred Thomas, Fundamentals of Sailplanes Design, College Park Press, USA, 1999
- [3] Čalkovský, Konstrukce a pevnost letadel, VAAZ, 1984,
- [4] Předpis CS - 22

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

---

prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem, výpočtem zatížení a pevnostní kontrolou kompozitní konstrukce křídla letounu s využitím konstrukce letounu VUT 001 Marabu, tak aby byly splněny požadavky předpisu CS-22. V rámci práce jsou rovněž řešeny základní hmotové, momentové a aerodynamické charakteristiky letounu. Dále je navržena modifikace střední části trupu tak, aby umožnila zástavbu proudového motoru dovnitř konstrukce.

## Klíčová slova

VUT 001 Marabu, křídlo, zatížení, kompozit, proudový motor

## Abstract

The diploma thesis deals with the design, load calculation and stress analysis of a composite wing construction of an airplane based on the construction of the airplane VUT 001 Marabu in order to fulfil conditions of CS-22 specifications. As a part of the thesis are basic mass, moment and aerodynamic characteristic of the airplane analyzed. Also the modification of the center part of the fuselage is designed in order to enable a jet engine instalation inside the construction.

## Keywords

VUT 001 Marabu, wing, load, composite, jet engine

## Bibliografická citace

MATĚJÁK, V. *Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 100 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.

# Prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem byl, seznámen s předpisy pro vypracování diplomové práce a že jsem celou diplomovou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Brně dne .....

.....

Vladimír Matěják

## Poděkování

Děkuji doc. Ing. Jaroslavu Juračkovi, Ph.D. za účinné vedení této diplomové práce. Dále děkuji Ing. Robertu Popelovi, Ph.D., Ing. Tomáši Uríkovi a Ing. Michalu Mališovi za poskytnutí cenných rad a informací při zpracování tohoto projektu.

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>POPIS VÝCHOZÍ KONSTRUKCE</b>	<b>10</b>
2.1	POPIS LETOUNU	10
2.2	VNĚJŠÍ ROZMĚRY	10
2.3	HMOTNOSTI	10
2.4	TŘÍPOHLEDOVÝ NÁKRES LETOUNU	10
<b>3</b>	<b>PŘEHLED PODOBNÝCH LETOUNŮ</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>GEOMETRICKÝ A AERODYNAMICKÝ NÁVRH KŘÍDLA</b>	<b>13</b>
4.1	ROZPĚTÍ	13
4.2	TVAR KŘÍDLA	13
4.3	PLOCHA	14
4.4	ŠTÍHLOST	14
4.5	STŘEDNÍ AERODYNAMICKÁ TĚTIVA	14
4.6	STŘEDNÍ GEOMETRICKÁ TĚTIVA	15
4.7	VOLBA PROFILŮ	15
4.8	GEOMETRICKÉ KROUCENÍ KŘÍDLA	15
4.9	KLAPKY	16
4.10	KŘIDELKA	16
4.11	VZEPĚTÍ	16
4.12	POROVNÁNÍ PARAMETRŮ STARÉHO A NOVÉHO KŘÍDLA	17
4.13	VZTLAKOVÁ ČÁRA KŘÍDLA	17
4.14	POLÁRA KŘÍDLA	18
4.14.1	<i>Součinitel odporu křídla při nulovém vztlaku</i>	18
4.14.2	<i>Přírůstek odporu od výchylky klapek</i>	19
4.14.3	<i>Indukovaný odpor křídla</i>	19
4.14.4	<i>Polára křídla</i>	19
<b>5</b>	<b>NÁVRH NOVÉ VOP</b>	<b>21</b>
5.1	PLOCHA VOP	21
5.2	TVAR VOP	22
5.3	STŘEDNÍ AERODYNAMICKÁ TĚTIVA VOP	23
5.4	POROVNÁNÍ PARAMETRŮ STARÉ A NOVÉ VOP	23
<b>6</b>	<b>HMOTNOSTI A CENTRÁŽE</b>	<b>24</b>
6.1	SOUŘADNICOVÁ SOUSTAVA	24



## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

6.2	VÝSTROJ .....	25
6.3	POHONNÁ SOUSTAVA.....	25
6.4	KONSTRUKCE DRAKU.....	25
6.5	PRÁZDNÁ HMOTNOST LETOUNU.....	26
6.6	UŽITEČNÉ ZATÍŽENÍ.....	26
6.7	ODHAD CENTRÁŽÍ .....	26
6.8	DIAGRAM CENTRÁŽÍ .....	28
<b>7</b>	<b>MOMENTOVÉ CHARAKTERISTIKY LETOUNU .....</b>	<b>29</b>
7.1	NÁHRADNÍ KŘÍDLO .....	29
7.2	KLOPIVÝ MOMENT KŘÍDLA PŘI NULOVÉM VZTLAKU.....	29
7.3	PŘÍRŮSTEK KLOPIVÉHO MOMENTU KŘÍDLA OD VYCHÝLENÉ KLAPKY .....	30
7.4	KLOPIVÝ MOMENT KOMBINACE KŘÍDLO-TRUP .....	34
7.5	AERODYNAMICKÝ STŘED KŘÍDLO-TRUP .....	36
7.6	AERODYNAMICKÝ STŘED LETOUNU .....	37
7.7	SKLON MOMENTOVÉ ČÁRY LETOUNU.....	38
7.8	STATICKÁ ZÁSoba S PEVNÝM ŘÍZENÍM .....	38
<b>8</b>	<b>POLÁRA LETOUNU .....</b>	<b>39</b>
8.1	STANOVENÍ OMOČENÉ PLOCHY.....	39
8.2	EKVIVALENTNÍ ŠKODLIVÁ PLOCHA .....	39
8.3	KOEFICIENT ODPORU.....	39
8.4	POLÁRA LETOUNU .....	40
<b>9</b>	<b>LETOVÁ OBÁLKA .....</b>	<b>41</b>
9.1	OBRATOVÁ OBÁLKA .....	41
9.1.1	<i>Provozní násobky zatížení</i> .....	41
9.1.2	<i>Návrhové rychlosti</i> .....	41
9.2	PORYVOVÁ OBÁLKA .....	43
<b>10</b>	<b>VÝPOČET ZATÍŽENÍ KŘÍDLA.....</b>	<b>46</b>
10.1	DEFINICE ZATĚŽOVACÍCH PŘÍPADŮ .....	46
10.1.1	<i>Symetrické letové podmínky</i> .....	46
10.1.2	<i>Nesymetrické letové podmínky</i> .....	46
10.2	POTŘEBNÉ SOUČINITELE VZTLAKU .....	46
10.3	PŘEHLED UVAŽOVANÝCH PŘÍPADŮ ZATÍŽENÍ.....	47
10.4	ROZLOŽENÍ SOUČINITELŮ VZTLAKU PO ROZPĚTÍ.....	47
10.5	ROZLOŽENÍ SPOJITÉHO ZATÍŽENÍ .....	52
10.5.1	<i>Spojitě aerodynamické zatížení</i> .....	52

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

10.5.2	<i>Spojité hmotové zatížení</i> .....	53
10.6	POSOUVAJÍCÍ SÍLA .....	55
10.6.1	<i>Posouvající síla od aerodynamického zatížení</i> .....	55
10.6.2	<i>Posouvající síla od hmotového zatížení</i> .....	56
10.6.3	<i>Výsledná posouvající síla</i> .....	57
10.7	OHYBOVÝ MOMENT .....	58
10.7.1	<i>Ohybový moment od aerodynamického zatížení</i> .....	58
10.7.2	<i>Ohybový moment od hmotového zatížení</i> .....	59
10.7.3	<i>Výsledný ohybový moment</i> .....	60
10.8	KROUTÍCÍ MOMENT K AERODYNAMICKÉMU STŘEDU.....	61
10.8.1	<i>Kroutící moment od aerodynamického zatížení</i> .....	61
10.8.2	<i>Kroutící moment od hmotového zatížení</i> .....	62
10.8.3	<i>Výsledný kroutící moment</i> .....	63
<b>11</b>	<b>KONSTRUKČNÍ NÁVRH KŘÍDLA</b> .....	<b>65</b>
11.1	PÁSNICE NOSNÍKU .....	65
11.2	STOJINA NOSNÍKU.....	66
11.3	POTAH.....	67
11.4	UCHYCENÍ KŘÍDLA .....	69
11.5	ŽEBRA .....	70
<b>12</b>	<b>PEVNOSTNÍ KONTROLA KŘÍDLA</b> .....	<b>71</b>
12.1	KONTROLA NOSNÍKU .....	71
12.2	KONTROLA POTAHU .....	73
12.3	KONTROLA KRAKORCE.....	75
12.4	KONTROLA KOŘENOVÉHO ŽEBRA.....	76
<b>13</b>	<b>ANALÝZA METODOU KONEČNÝCH PRVKŮ</b> .....	<b>78</b>
13.1	TVORBA MODELU .....	78
13.2	DEFINOVÁNÍ MATERIÁLŮ A VLASTNOSTÍ .....	79
13.3	ZATÍŽENÍ A OKRAJOVÉ PODMÍNKY .....	79
13.4	VÝSLEDKY ANALÝZY .....	81
13.5	ZHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ .....	82
<b>14</b>	<b>ZÁSTAVBA PROUDOVÉHO MOTORU</b> .....	<b>84</b>
14.1	CHARAKTERISITIKA MOTORU TJ 100 A .....	84
14.2	UMÍSTĚNÍ MOTORU .....	85
14.3	VSTUPNÍ SOUSTAVA.....	86
14.3.1	<i>Efektivní plocha vstupního otvoru</i> .....	86

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

14.3.2	<i>Geometrie vstupního otvoru.....</i>	86
14.3.3	<i>Umístění vstupního otvoru .....</i>	88
14.4	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ .....	88
14.5	VÝSLEDNÁ GEOMETRIE TRUPU .....	89
15	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>91</b>
16	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>92</b>
17	<b>SEZNAM POŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....</b>	<b>93</b>
18	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>100</b>

# 1 Úvod

Předpis CS-22 pro kluzáky a motorové kluzáky umožňuje certifikovat letadlo s proudovým pohonem. Základním požadavkům předpisu na minimální rozpětí ovšem původní konstrukce VUT 001 Marabu nevyhovuje. Z tohoto důvodu je potřeba navrhnout nové křídlo, jenž by tyto požadavky splňovalo. Střední část trupu si také vyžaduje modifikaci, aby umožnila zástavbu proudového motoru dovnitř konstrukce.

## 2 Popis výchozí konstrukce

### 2.1 Popis letounu

Letoun je dvoumístný s tandemovým umístěním sedadel. Kombinuje pístový motor v tlačném uspořádání s proudovým motorem TJ 100. Podvozek je pevný, příďového typu. Konstrukce trupu je kompozitová, vodorovné ocasní plochy a křídlo jsou kovové a geometricky shodné s letounem KP-2U Sova (Rapid 200). Strategickým cílem letounu je využití smíšené varianty s lidskou posádkou, která umožní překlenout legislativní bariéru pro provoz bezpilotních letounů. Plně ověřený a odzkoušený návrh letounu bude připraven pro čistou variantu bezpilotního prostředku. V budoucnu se některé varianty budou používat v provozu i s pilotem, kdy jeho úloha bude převážně kontrolní a legislativní.

### 2.2 Vnější rozměry

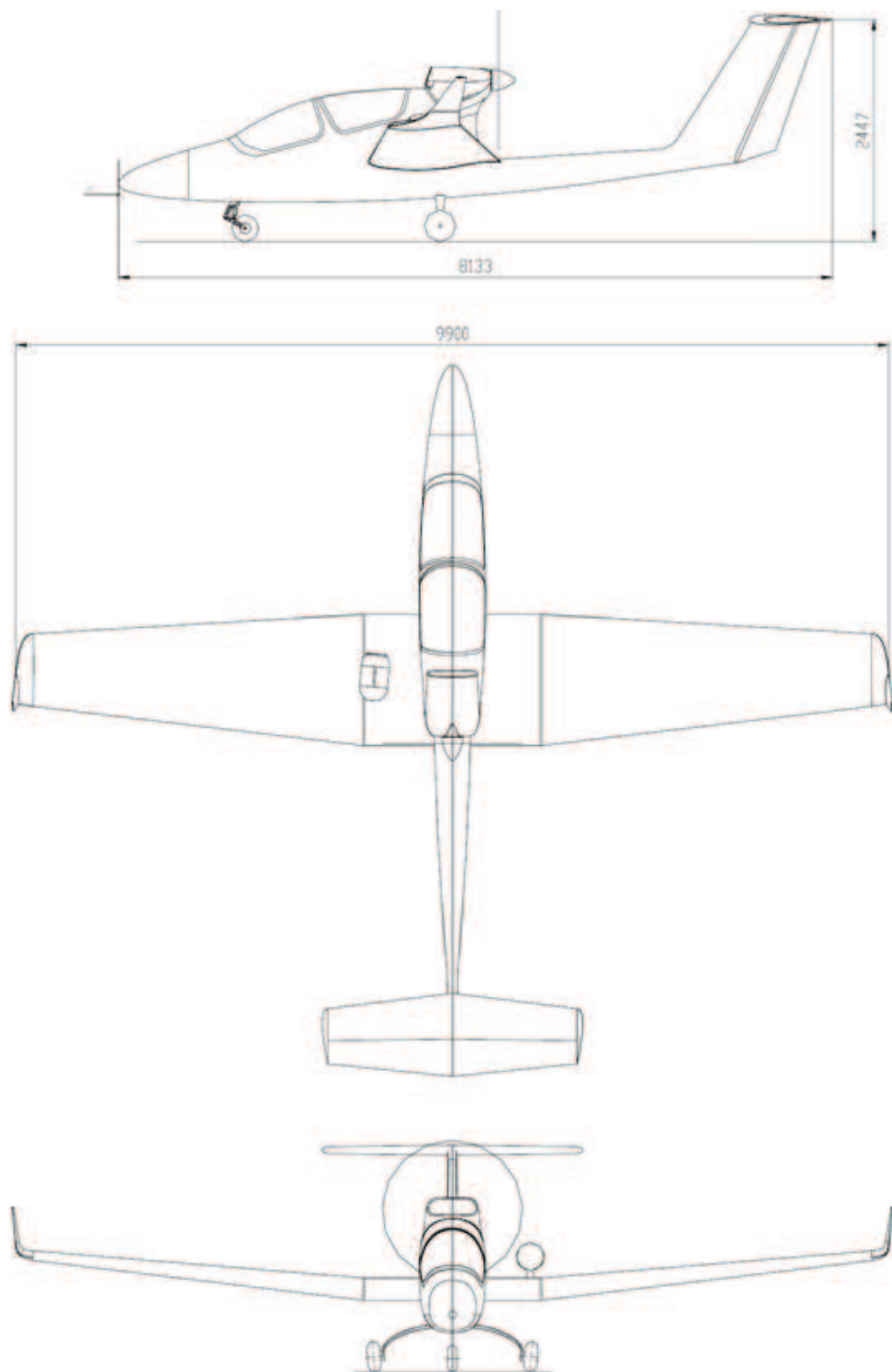
Rozpětí	$b = 9,905 \text{ m}$
Délka	$l = 8,133 \text{ m}$
Výška	$h = 2,447 \text{ m}$

### 2.3 Hmotnosti

Maximální vzletová hmotnost	$m_{TOW} = 600 \text{ kg}$
Maximální přistávací hmotnost	$m_L = 600 \text{ kg}$
Prázdná hmotnost letounu	$m_E = 382,5 \text{ kg}$
Maximální užitečné zatížení	$m_{PL} = 210 \text{ kg}$

### 2.4 Třípohledový náčrt letounu

Na obr. 2.1 je znázorněna výchozí konstrukce VUT 001 Marabu ve třech pohledech a uvedeny základní rozměry.



Obr. 2.1 Třípohledový náčrtek VUT 001 Marabu

### 3 Přehled podobných letounů

Navrhovaný letoun VUT 022 bude certifikován podle předpisu CS-22, bude se tedy jednat o motorizovaný dvoumístný kluzák s tandemovým uspořádáním sedadel. Pro možnost srovnání navrhovaného letounu s konkurencí byla provedena studie podobných letounů na trhu. Potřebná data byla zjištěna z literatury [5].

letoun	země původu	plocha křídla	rozpětí křídla	štitlost křídla	délka	výška	max. vzletová hmotnost	prázdná hmotnost
-----	-----	S[m <sup>2</sup> ]	b[m]	Ar[-]	l[m]	h[m]	m <sub>TOW</sub> [kg]	m <sub>E</sub> [kg]
Aeromot Ximango	Brazil	17,47	17,47	16,3	8,08	1,93	850	620
Diamond HK 36	Austria	15,3	16,33	17,4	7,28	2,4	770	555
M+D Avo 68-R Samburo	Germany	20,7	16,68	13,4	8,05	1,86	700	550
Paravar Pars Saba	Iran	18,54	17,25	16	7,66	1,77	780	542
Scheibe SF25C Falke	Germany	18,2	15,3	12,9	7,6	2,5	650	448
Stemme S10	Germany	18,7	23	28,3	8,42	1,8	850	660
Stemme S6	Germany	17,4	18	18,6	8,52	2,45	850	603
Vans RV-11	USA	10,5	15	21,4				
Whisper Whisper	South Africa	15	16	17,1	7,16		745	500
Airsport Sonata	Czech Republic	14,3	15,05	15,8	6,8	1,45	450	278

letoun	max. plošné zatížení	výkonové zatížení	klouzavost	max. stoupací rychlost	pádová rychlost	max. rychlost	délka vzletu do 15 m
-----	W/S[kg/m <sup>2</sup> ]	W/P[kg/kW]	L/D [-]	V <sub>Zmax</sub> [m/s]	V <sub>S</sub> [km/h]	V <sub>H</sub> [km/h]	S <sub>TO</sub> [m]
Aeromot Ximango	45,5	11,56	31	2,6	78	205	323
Diamond HK 36	50,3	12,92	27	4,1		200	338
M+D Avo 68-R Samburo	33,8	9,52	25	5,7	56	200	183
Paravar Pars Saba	41,9	14,09		3,56	75	234	305
Scheibe SF25C Falke	35,7	10,9	24	3,2	65	190	
Stemme S10	45,5	10,06	50	4,15	78	225	447
Stemme S6	48,8	11,56	33	5,8		240	
Vans RV-11							
Whisper Whisper	49,7	12,63	28	3,55	72	185	
Airsport Sonata			35	2	65	180	

Tab. 3.1 Přehled podobných letounů

## 4 Geometrický a aerodynamický návrh křídla

### 4.1 Rozpětí

Dle požadavku předpisu CS-22 platí základní požadavek

$$\frac{m}{b^2} \leq 3$$

Rozpětí pro maximální vzletovou hmotnost musí tedy splňovat

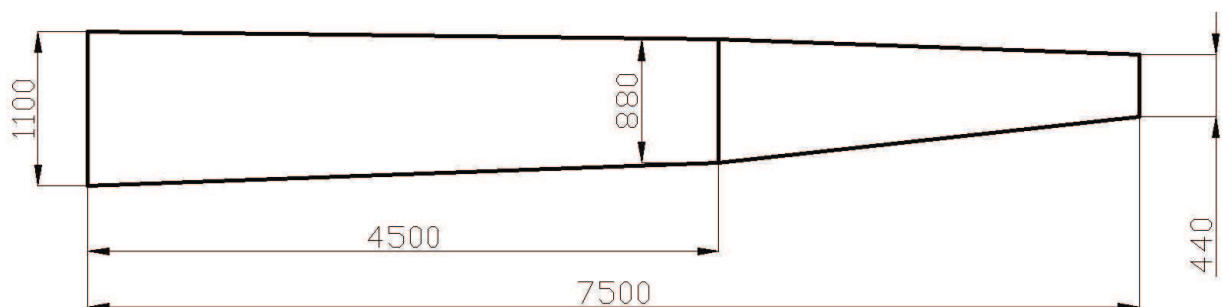
$$b \geq \sqrt{\frac{m_{TOW}}{3}} = \sqrt{\frac{600}{3}} = 14,14 \text{ m}$$

Rozpětí nového křídla tedy bude

$$b = 15 \text{ m}$$

### 4.2 Tvar křídla

Tvar křídla je důležitý z hlediska výkonových charakteristik, pádových vlastností letounu a mimo jiné i výrobních nákladů. Dle [2] vykazuje zvláště dobré vlastnosti lichoběžníkové křídlo s dvojím zúžením v poměru 0,4:0,8:1 a zlomem zúžení v 60% polorozpětí. Rozměry jsou voleny tak, aby se plocha co nejvíce shodovala s plochou původního křídla.



Obr. 4.1 Půdorysný tvar křídla



### 4.3 Plocha

Plocha vnitřní části křídla

$$S_1 = 2 \cdot \frac{(c_0 + c_1) \cdot l_1}{2} = 2 \cdot \frac{(1,1 + 0,88) \cdot 4,5}{2} = 8,91 \text{ m}^2$$

Plocha vnější části křídla

$$S_2 = 2 \cdot \frac{(c_1 + c_k) \cdot (l - l_1)}{2} = 2 \cdot \frac{(0,88 + 0,44) \cdot (7,5 - 4,5)}{2} = 3,96 \text{ m}^2$$

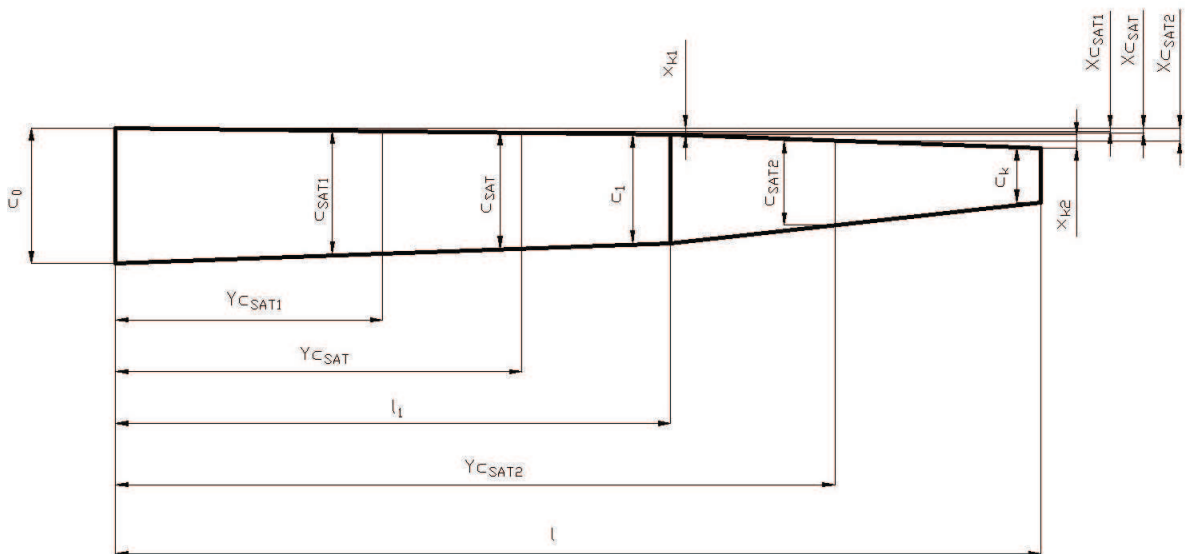
Plocha celého křídla

$$S = S_1 + S_2 = 8,91 + 3,96 = 12,87 \text{ m}^2$$

### 4.4 Štíhlost

$$Ar = \frac{b^2}{S} = \frac{15^2}{12,87} = 17,48$$

### 4.5 Střední aerodynamická těživa



Obr. 4.2 Definice rozměrů SAT

Střední aerodynamická těživa vnitřního křídla

$$c_{SAT1} = \frac{2}{3} \cdot \frac{c_0^2 + c_0 \cdot c_1 + c_1^2}{c_0 + c_1} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,1^2 + 1,1 \cdot 0,88 + 0,88^2}{1,1 + 0,88} = 0,994074 \text{ m}$$

Střední aerodynamická těživa vnějšího křídla

$$c_{SAT2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{c_1^2 + c_1 \cdot c_k + c_k^2}{c_1 + c_k} = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,88^2 + 0,88 \cdot 0,44 + 0,44^2}{0,88 + 0,44} = 0,6844444 \text{ m}$$

Střední aerodynamická těživa celého křídla

$$c_{SAT} = \frac{c_{SAT1} \cdot S_1 + c_{SAT2} \cdot S_2}{S_1 + S_2} = \frac{0,994074 \cdot 8,91 + 0,6844444 \cdot 3,96}{8,91 + 3,96} = 0,8988 \text{ m}$$

Poloha SAT po rozpětí

$$y_{c_{SAT1}} = \frac{l_1}{3} \cdot \frac{c_0 + 2 \cdot c_1}{c_0 + c_1} = \frac{4,5}{3} \cdot \frac{1,1 + 2 \cdot 0,88}{1,1 + 0,88} = 2,1667 \text{ m}$$

$$y_{c_{SAT2}} = l_1 + \frac{(l - l_1)}{3} \cdot \frac{c_1 + 2 \cdot c_k}{c_1 + c_k} = 4,5 + \frac{(7,5 - 4,5)}{3} \cdot \frac{0,88 + 2 \cdot 0,44}{0,88 + 0,44} = 5,8333 \text{ m}$$

$$y_{c_{SAT}} = \frac{y_{c_{SAT1}} \cdot S_1 + y_{c_{SAT2}} \cdot S_2}{S_1 + S_2} = \frac{2,1667 \cdot 8,91 + 5,8333 \cdot 3,96}{8,91 + 3,96} = 3,2949 \text{ m}$$

Poloha SAT po hloubce

$$x_{c_{SAT1}} = y_{c_{SAT1}} \cdot \operatorname{tg} \gamma_1 = y_{c_{SAT1}} \cdot \frac{x_{k1}}{l_1} = 2,1667 \cdot \frac{0,055}{4,5} = 0,02648 \text{ m}$$

$$x_{c_{SAT2}} = x_{k1} + (y_{c_{SAT2}} - l_1) \cdot \frac{x_{k2}}{(l - l_1)} = 0,055 + (5,8333 - 4,5) \cdot \frac{0,11}{7,5 - 4,5} = 0,10386 \text{ m}$$

$$x_{c_{SAT}} = \frac{x_{c_{SAT1}} \cdot S_1 + x_{c_{SAT2}} \cdot S_2}{S_1 + S_2} = \frac{0,14204 \cdot 8,91 + 0,38211 \cdot 3,96}{8,91 + 3,96} = 0,0503 \text{ m}$$

#### 4.6 Střední geometrická těživa

$$c_{SGT} = \frac{S}{b} = \frac{12,87}{15} = 0,858 \text{ m}$$

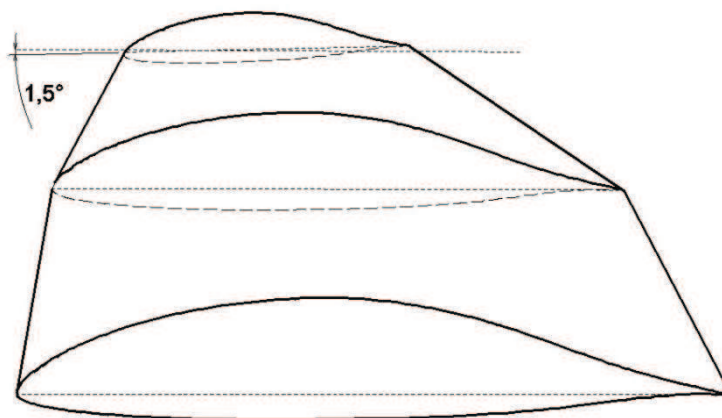
#### 4.7 Volba profilů

Pro kořenový i koncový řez křídla je volen profil FX-67-K-170/17. Jeho aerodynamické charakteristiky jsou uvedeny v [6].

#### 4.8 Geometrické kroucení křídla

Z důvodu zlepšení pádových vlastností a zabránění odtržení proudu v oblasti křídélka je koncový profil zkroucen.

$$\alpha_{zkr} = -1,5^\circ$$



Obr. 4.3 Kroucení koncového profilu

## 4.9 Klapky

Klapky jsou umístěny od 0,5 m do 7,4 m polorozpětí. Jejich hloubka je 17% hloubky profilu. Maximální výchylka klapky je  $12^\circ$ .

## 4.10 Křídélka

Křídélka se nacházejí od 4,4 m do 7,4 m polorozpětí, jejich hloubka je 17%, jsou spojeny s klapkami a plní jejich funkci. Maximální výchylky křídélka jsou  $+16^\circ$  a  $-24^\circ$ .

## 4.11 Vzepětí

Vzepětí křídla ovlivňuje příčnou stabilitu letounu. Hodnota byla zvolena na základě podobných letounů.

$$\Gamma = 4^\circ$$

## 4.12 Porovnání parametrů starého a nového křídla

	Nové	Staré
Profil	FX-67-K-1570/17	LS-0417 LS-0413
Plocha	$S=12,87 \text{ m}^2$	$S=11,85 \text{ m}^2$ $S_{nk}=12,76 \text{ m}^2$
Rozpětí	$b=15 \text{ m}$	$b=9,90 \text{ m}$ $b_{nk}=10,80 \text{ m}$
Štíhlost	$Ar=17,48$	$Ar=7,78$ $Ar_{nk}=9,14$
Úhel zkroucení koncového profilu	$\alpha_{zkr}=-2^\circ$	$\alpha_{zkr}=-1^\circ$
Úhel vzepětí	$\Gamma=4^\circ$	$\Gamma_{cent}=0^\circ$ $\Gamma_{kř}=6^\circ$
Úhel šípu	$\chi=0^\circ$	$\chi_{cent}=0^\circ$ $\chi_{kř}=0,8^\circ$
Hlobka kořenového profilu	$c_0=1,1 \text{ m}$	$c_0=1,5 \text{ m}$
Hloubka profilu ve zlomu zúžení	$c_1=0,88 \text{ m}$	$c_1=1,5 \text{ m}$
Hloubka koncového profilu	$c_k=0,44 \text{ m}$	$c_k=0,8294 \text{ m}$
Hloubka střední geometrické tětiny	$c_{SGT}=0,858 \text{ m}$	$c_{SGT}=1,234 \text{ m}$
Hloubka střední aerodynamické tětiny	$c_{SAT}=0,8988 \text{ m}$	$c_{SAT}=1,2736 \text{ m}$
Poloha střední aerodynamické tětiny	$x_{cSAT}=0,0503 \text{ m}$	$x_{cSAT}=0,07471 \text{ m}$
	$y_{cSAT}=3,2949 \text{ m}$	$y_{cSAT}=2,1563 \text{ m}$

Tab. 4.1 Geometrické charakteristiky křídla

## 4.13 Vztlaková čára křídla

Pomocí programu Glauert III byl zjištěn sklon vztlakové čáry, maximální součinitele vztlaku a úhel nulového vztlaku křídla bez vychýlené klapky.

$c_{L\alpha} [\text{rad}^{-1}]$	5,549
$c_{Lmax} [-]$	1,2954
$c_{Lmax12^\circ} [-]$	1,5552
$\alpha_0 [^\circ]$	-4,7663

Tab. 4.2 Vztlaková čára křídla

Skлон vztlakové čáry je stejný pro křídlo s vychýlenou klapkou i bez vychýlené klapky. Rovnice vztlakové čáry se potom dá zapsat ve tvaru:

- $c_{Lkř} = 5,549 \cdot \alpha [\text{rad}] + 0,4616$  pro  $\delta_{kl} = 0^\circ$
- $c_{Lkř} = 5,549 \cdot \alpha [\text{rad}] + 0,7214$  pro  $\delta_{kl} = 12^\circ$

## 4.14 Polára křídla

### 4.14.1 Součinitel odporu křídla při nulovém vztlaku

Podle literatury [1] lze spočítat jako:

$$c_{D0_{kř}} = R_1 \cdot R_2 \cdot c_{f_{kř}} \cdot \left[ 1 + L' \cdot \frac{t}{c} + 100 \cdot \left( \frac{t}{c} \right)^4 \right] \cdot \frac{S_{WET}}{S}$$

kde  $R_1$  je faktor interference křídlo-trup  $R_1 = 1,05$

$R_2$  je korekční faktor vztlakové plochy  $R_2 = 1,05$

$c_{f_{kř}}$  třecí koeficient rovné desky. Pro nízká Machova čísla a Reynoldsovo číslo okolo  $1 \cdot 10^6$  jej lze odhadnout z obr. 4.3  $c_{f_{kř}} = 0,004$

$L'$  je vliv polohy maximální tloušťky profilu  $L' = 1,2$

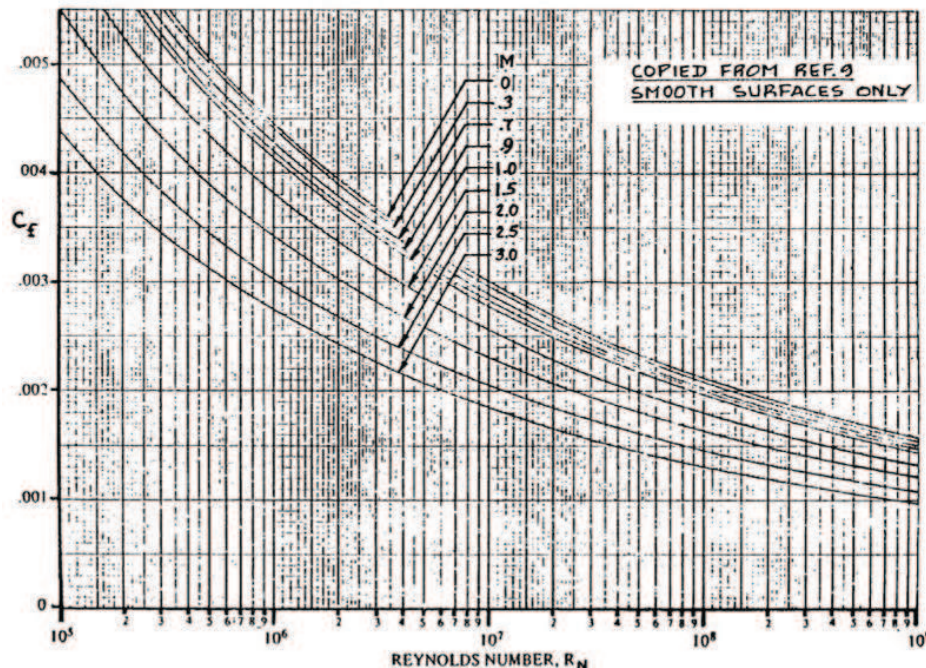
$\frac{t}{c}$  je poměrná tloušťka křídla  $\frac{t}{c} = 0,17$

$S_{WET}$  je omočená plocha křídla, stanovená z geometrického modelu v programu Catia  $S_{WET} = 26,58 \text{ m}^2$

Po dosazení:

$$c_{D0_{kř}} = 1,05 \cdot 1,05 \cdot 0,004 \cdot [1 + 1,2 \cdot 0,17 + 100 \cdot (0,17)^4] \cdot \frac{26,58}{12,87}$$

$$c_{D0_{kř}} = 0,01172$$



Obr. 4.4 Třecí koeficient

**4.14.2 Přírůstek odporu od výchylny klapky**

$$\Delta c_{D_{kl}} = \Delta c_{d_{kl}} \cdot \cos \chi \cdot \frac{S_{wf}}{S}$$

kde  $\Delta c_{d_{kl}}$  je přírůstek profilového odporu od výchylny klapky  $\Delta c_{d_{kl}} = 0,017$

$S_{wf}$  je plocha křídla ovlivněná klapkami  $S_{wf} = 11,6 \text{ m}^2$

$$\Delta c_{D_{kl}} = 0,017 \cdot \cos(-5^\circ) \cdot \frac{11,6}{12,87} = 0,01526$$

**4.14.3 Indukovaný odpor křídla**

$$c_D = \frac{c_L^2}{\pi \cdot A} \cdot (1 + \delta)$$

kde  $\delta$  je Glauertův opravný součinitel, stanovený v programu Glauert III

$$\delta = 0,0175$$

**4.14.4 Polára křídla**

- pro konfiguraci bez vychýlené klapky:

$$c_{D_{kř}} = c_{D0_{kř}} + \frac{c_{L_{kř}}^2}{\pi \cdot A} \cdot (1 + \delta)$$

$$c_{D_{kř}} = 0,01172 + \frac{c_{L_{kř}}^2}{\pi \cdot 17,48} \cdot (1 + 0,0175)$$

$$c_{D_{kř}} = 0,01172 + 0,018529 \cdot c_{L_{kř}}^2$$

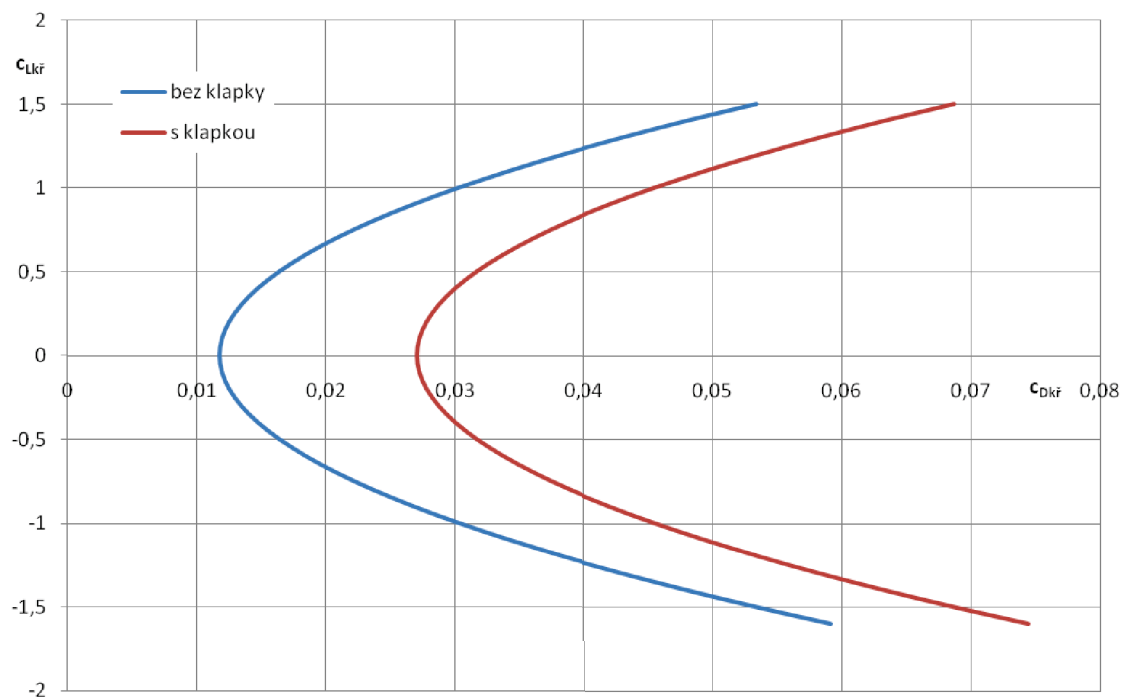
- pro konfiguraci s vychýlenou klapkou:

$$c_{D_{kř}} = c_{D0_{kř}} + \Delta c_{D_{kl}} + \frac{c_{L_{kř}}^2}{\pi \cdot A} \cdot (1 + \delta)$$

$$c_{D_{kř}} = 0,01172 + 0,01526 + \frac{c_{L_{kř}}^2}{\pi \cdot 17,48} \cdot (1 + 0,0175)$$

$$c_{D_{kř}} = 0,02698 + 0,018529 \cdot c_{L_{kř}}^2$$

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22



Obr. 4.5 Odporová polára křídla

## 5 Návrh nové VOP

### 5.1 Plocha VOP

Výpočet minimální plochy VOP je proveden podle [2]. Vycházíme z redukovaného objemu  $VOP^1$ , který se spočítá podle vztahu:

$$\left(\frac{V_{VOP}}{V_{KŘ}}\right)^* = \sigma_S + \overline{X_T} - 0,25$$

kde  $\sigma_S$  je minimální požadovaná statická zásoba  $\sigma_S = 0,1$

$\overline{X_T}$  je předpokládaná poloha těžiště pro zadní mezní centráž  $\overline{X_T} = 0,35$

Po dosazení

$$\left(\frac{V_{VOP}}{V_{KŘ}}\right)^* = \sigma_S + \overline{X_T} - 0,25 = 0,1 + 0,35 - 0,25 = 0,2$$

Vztah mezi skutečným a redukovaným objemem VOP vyjadřuje následující rovnice:

$$\left(\frac{V_{VOP}}{V_{KŘ}}\right)^* = \left(1 - \frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha}\right) \cdot \frac{V_{VOP}}{V_{KŘ}}$$

kde  $\left(1 - \frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha}\right)$  je funkcí polohy VOP. Tuto hodnotu můžeme odhadem stanovit podle grafu v [2], str.143, obr. 177:

$$\left(1 - \frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha}\right) = 0,78$$

Vztažný objem křídla:

$$V_{KŘ} = a_{KŘ} \cdot c_{SAT} \cdot S = 5,549 \cdot 0,8988 \cdot 12,87 = 64,188 \text{ m}^3 \cdot \text{rad}^{-1}$$

Skutečný objem VOP je tedy:

$$V_{VOP} = \frac{\left(\frac{V_{VOP}}{V_{KŘ}}\right)^* \cdot V_{KŘ}}{\left(1 - \frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha}\right)} = \frac{0,2 \cdot 64,188}{0,78} = 16,458$$

Potřebnou plochu VOP vyjádříme ze vztahu:

$$V_{VOP} = a_{VOP} \cdot \widetilde{l_{VOP}} \cdot S_{VOP}$$

<sup>1</sup> z anglického „horizontal tail volume“. V některých zdrojích se uvádí odlišný pojem *mohutnost VOP* („tail volume coefficient“), což je bezrozměrová veličina a je důležité tyto dva pojmy nezaměňovat.



## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

kde  $a_{VOP}$  je sklon vztlakové čáry VOP, který můžeme určit podle rozšířené teorie nosné čáry

$$a_{VOP} = \frac{a_{VOP\_profil} \cdot Ar_{VOP}}{2 + \sqrt{Ar_{VOP}^2 + 4}}$$

$\widetilde{l_{VOP}}$  je rameno VOP vztaženo k poloze těžiště pro zadní mezní centráž

$$\widetilde{l_{VOP}} = 4,2517 \text{ m}$$

Na VOP bude použit profil, který je typický pro většinu moderních kluzáků FX-71-L-150/25, jehož aerodynamické charakteristiky jsou uvedeny v [6]. Odtud

$$a_{VOP\_profil} = 5,5863$$

Štíhlost VOP byla by měla ležet v rozmezí

$$5 \leq Ar_{VOP} \leq 8$$

Větší štíhlosti jsou vhodné pro více zatížené ocasní plochy. Štíhlost VOP tedy zvolena:

$$Ar_{VOP} = 5$$

Sklon vztlakové čáry po dosazení:

$$a_{VOP} = \frac{5,5863 \cdot 5}{2 + \sqrt{5^2 + 4}} = 3,7821$$

Minimální plocha VOP tedy bude:

$$S_{VOP\_min} = \frac{V_{VOP}}{a_{VOP} \cdot \widetilde{l_{VOP}}} = \frac{16,458}{3,7821 \cdot 4,2517} = 1,023 \text{ m}^2$$

## 5.2 Tvar VOP

Dle [2] je indukovaný odpor ocasních ploch nejnižší přibližně při zúžení  $\eta = 0,4$ . Pro toto zúžení, zvolenou štíhlost a minimální plochu vyhovují rozměry:

$$c_{0\_VOP} = 0,7 \text{ m}$$

$$c_{k\_VOP} = 0,3 \text{ m}$$

$$b_{VOP} = 2,5 \text{ m}$$

### 5.3 Střední aerodynamická těliva VOP

Délka SAT

$$c_{SAT\_VOP} = \frac{2}{3} \cdot \frac{c_{0\_VOP}^2 + c_{0\_VOP} \cdot c_{k\_VOP} + c_{k\_VOP}^2}{c_{0\_VOP} + c_{k\_VOP}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,7^2 + 0,7 \cdot 0,3 + 0,3^2}{0,7 + 0,3} = 0,5267 \text{ m}$$

Poloha SAT po rozpětí

$$y_{c_{SAT\_VOP}} = \frac{l_{VOP}}{3} \cdot \frac{c_{0\_VOP} + 2 \cdot c_{k\_VOP}}{c_{0\_VOP} + c_{k\_VOP}} = \frac{1,25}{3} \cdot \frac{0,7 + 2 \cdot 0,3}{0,7 + 0,3} = 0,5417 \text{ m}$$

Poloha SAT po hloubce

$$x_{c_{SAT\_VOP}} = y_{c_{SAT\_VOP}} \cdot \tan \gamma_{VOP} = 0,5357 \cdot 0,08 = 0,043 \text{ m}$$

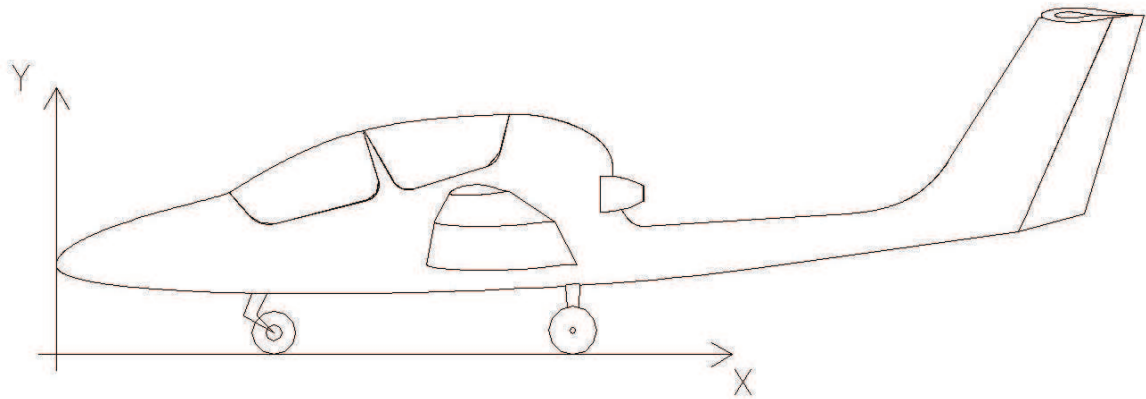
### 5.4 Porovnání parametrů staré a nové VOP

	Nové	Staré
Profil	FX-71-L-150/25	NACA 0012
Plocha	$S_{VOP}=1,25 \text{ m}^2$	$S_{VOP}=2,277 \text{ m}^2$
Rozpětí	$b_{VOP}=2,5 \text{ m}$	$b_{VOP}=2,95 \text{ m}$
Štíhlost	$Ar_{VOP}=5$	$Ar_{VOP}=3,727$
Zúžení	$\eta_{VOP}=0,4286$	$\eta_{VOP}=0,650$
Úhel vzepětí	$\Gamma_{VOP}=0^\circ$	$\Gamma_{VOP}=0^\circ$
Úhel šípu	$\chi_{VOP}=0^\circ$	$\chi_{VOP}=3,87^\circ$
Hloubka kořenového řezu	$c_{0VOP}=0,7 \text{ m}$	$c_{0VOP}=0,95 \text{ m}$
Hloubka koncového řezu	$c_{kVOP}=0,3 \text{ m}$	$c_{kVOP}=0,6236 \text{ m}$
Hloubka střední aerodynamické těliva	$c_{SAT\_VOP}=0,5267 \text{ m}$	$c_{SAT}=0,7966 \text{ m}$
Poloha střední aerodynamické těliva	$x_{c_{SAT\_VOP}}=0,043 \text{ m}$	$x_{c_{SAT\_VOP}}=0,0836 \text{ m}$
	$y_{c_{SAT\_VOP}}=0,5417 \text{ m}$	$y_{c_{SAT\_VOP}}=0,6735 \text{ m}$

Tab. 5.1 Geometrické charakteristiky VOP

## 6 Hmotnosti a centráže

### 6.1 Souřadnicová soustava



Obr. 6.1 Souřadnicová soustava pro výpočet centrží

Pro každou položku letounu jsou stanoveny následující parametry:

$m$  = hmotnost položky [kg]

$X$  = vzdálenost těžiště položky od počátku souřadnicového systému v ose X [mm]

$Y$  = vzdálenost těžiště položky od počátku souřadnicového systému v ose Y [mm]

$I_x$  = moment k ose X [kg·mm]

$I_y$  = moment k ose Y [kg·mm]

Jednotlivé položky jsou rozděleny do skupin:

- výstroj
- pohonná soustava
- konstrukce draku
- užitečné zatížení

Hmotnosti a polohy těžišť většiny položek byly převzaty z [7].

## 6.2 Výstroj

Položka	m[kg]	X[mm]	Y[mm]	I <sub>x</sub> [kg.mm]	I <sub>y</sub> [kg.mm]
Přístrojová deska I	6,7	1480	1000	9916	6700
Přístrojová deska II	3,1	2540	1100	7874	3410
Systém tlakových had.	1	2950	900	2950	900
Elektro-výstroj	3	3300	1100	9900	3300
Sedačka pilota I	3	1860	750	5580	2250
Sedačka pilota II	3	2970	870	8910	2610
Baterie	8	2970	870	23760	6960
Brzdící systém kol	1	2500	800	2500	800

Tab. 6.1 Výstroj

## 6.3 Pohonná soustava

Položka	m[kg]	X[mm]	Y[mm]	I <sub>x</sub> [kg.mm]	I <sub>y</sub> [kg.mm]
Palivový systém	4	3150	1000	12600	4000
Ovládání motoru	1	3000	1150	3000	1150
Motorové lože	5	3800	1000	19000	5000
Protipožární stěna	3,5	3500	1500	12250	5250
Motor TJ 100M	25	3850	1100	96250	27500

Tab. 6.2 Pohonná soustava

Oproti [7] byly změněny polohy těžiště pro motor TJ 100M a motorové lože. Byly vypuštěny položky motor, vrtule a kapotáž.

## 6.4 Konstrukce draku

Položka	m[kg]	X[mm]	Y[mm]	I <sub>x</sub> [kg.mm]	I <sub>y</sub> [kg.mm]
Křídlo	100	3110	900	311000	90000
Trup po zadní sedačku	25	2500	900	62500	22500
Hlavní přepážka	3,25	3280	940	10660	3055
Střední část trupu	8	3600	900	28800	7200
Zasklení I	8	2150	1290	17200	10320
Zasklení II	8	2800	1390	22400	11120
Trup. Kornout	9	500	750	4500	6750
Mot. Přepážka	3	3800	1100	11400	3300
SOP-kýl	6	7050	1600	42300	9600
SOP-kormidlo	2,5	7450	1600	18625	4000
VOP	11,5	7390	2440	84985	28060
Hlavní podvozek - nohy	5	3660	400	18300	2000
Kola hl. Podvozku	9,8	3660	180	35868	1764
Příďový podvozek - noha	4	740	350	2960	1400
Kolo př. Podvozku	1,85	820	130	1517	240,5
Řízení	4	3550	800	14200	3200
Nátěr	15	3400	900	51000	13500
Balast	3,8	3400	800	12920	3040

Tab. 6.3 Konstrukce draku

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

Oproti [7] byla změněna hmotnost a poloha těžiště křídla a VOP. Hmotnost nového křídla byla odhadnuta na 100 kg. Hmotnost nové VOP byla odhadnuta na 11,5 kg.

## 6.5 Prázdná hmotnost letounu

Položka	m[kg]	X[mm]	Y[mm]	I <sub>x</sub> [kg.mm]	I <sub>y</sub> [kg.mm]
Prázdná hmotnost	295	3273,305	986,0322	965625	290879,5

Tab. 6.4 Prázdná hmotnost letounu

## 6.6 Užitečné zatížení

Položka	m[kg]	X[mm]	Y[mm]	I <sub>x</sub> [kg.mm]	I <sub>y</sub> [kg.mm]
Pilot I (90 kg)	90	1860	750	167400	1395000
Pilot I (55 kg)	55	1860	750	102300	1395000
Pilot II (90 kg)	90	2970	870	267300	2583900
Pilot II (55 kg)	55	2970	870	163350	2583900
Palivo	125	2930	900	366250	2637000

Tab. 6.5 Užitečné zatížení

Možnosti rozložení platíciho zatížení jsou:

	m[kg]	X[mm]	Y[mm]	I <sub>x</sub> [kg.mm]	I <sub>y</sub> [kg.mm]
2 piloti (90kg) + palivo	600	2944,292	11511,3	1766575	6906779,5
2 piloti (90kg) - palivo	475	2948,053	8989,009	1400325	4269779,5
2 piloti (55kg) + palivo	530	3014,198	13031,66	1597525	6906779,5
2 piloti (55kg) - palivo	405	3040,185	10542,67	1231275	4269779,5
Pilot I (90kg) + palivo	510	2939,755	8476,234	1499275	4322879,5
Pilot I (90kg) - palivo	385	2942,922	4378,908	1133025	1685879,5
Pilot I (55kg) + palivo	475	3019,316	9100,799	1434175	4322879,5
Pilot I (55kg) - palivo	350	3051,214	4816,799	1067925	1685879,5
Pilot I (90kg) + Pilot II (55kg) + palivo	565	2942,699	12224,39	1662625	6906779,5
Pilot I (90kg) + Pilot II (55kg) - palivo	440	2946,307	9704,044	1296375	4269779,5

Tab. 6.6 možnosti rozložení platíciho zatížení

## 6.7 Odhad centráží

Centráž se spočítá podle vztahu:

$$C = \frac{X_T - X_{c_{SAT}}}{c_{SAT}} \cdot 100$$

$$X_{c_{SAT}} = 2750 \text{ mm}$$

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

Pro jednotlivé možnosti užitečného zatížení:

	<b>m[kg]</b>	<b>X<sub>T</sub>[mm]</b>	<b>C[%]</b>
Prázdná hmotnost	295	3273,305	58,22242
2 piloti (90kg) + palivo	600	3152,583	21,6167
2 piloti (90kg) - palivo	475	3066,421	22,03514
2 piloti (55kg) + palivo	530	3250	29,39443
2 piloti (55kg) - palivo	405	3179,012	32,28572
Pilot I (90kg) + palivo	510	3184,804	21,11195
Pilot I (90kg) - palivo	385	3088,961	21,46432
Pilot I (55kg) + palivo	475	3282,421	29,96381
Pilot I (55kg) - palivo	350	3211,857	33,51281
Pilot I (90kg) + Pilot II (55kg) + palivo	565	3163,894	21,43952
Pilot I (90kg) + Pilot II (55kg) - palivo	440	3074,091	21,84091

Tab. 6.7 Centráže

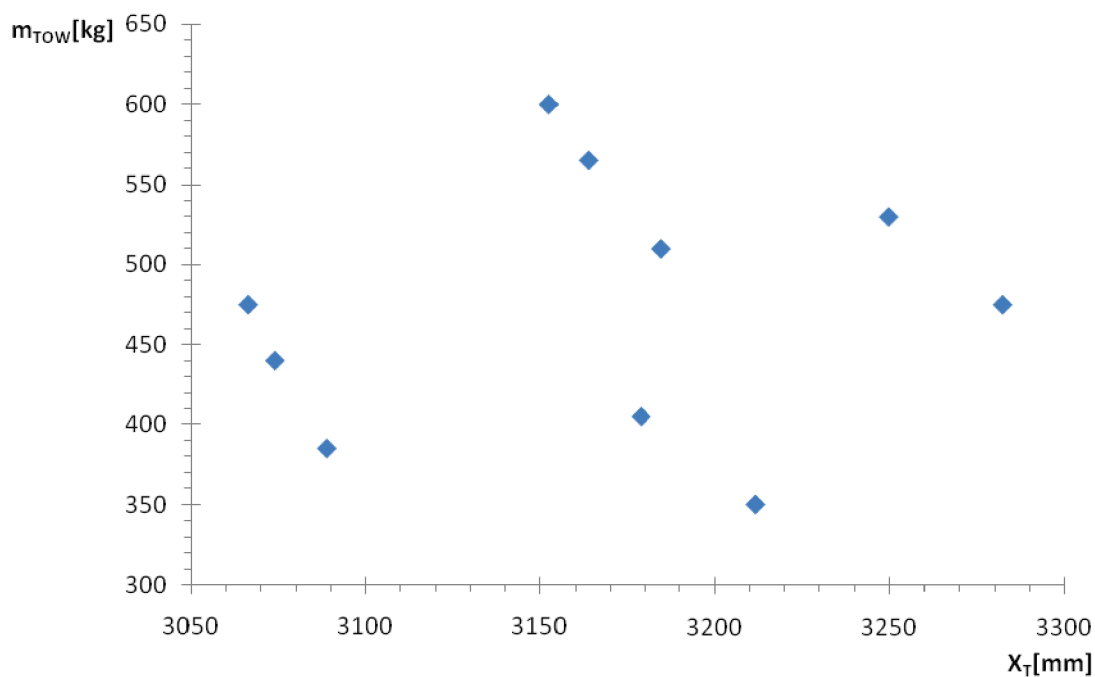
Mezní centráže jsou:

	<b>C[%]</b>
přední mezní centráž	21,11195
zadní mezní centráž	33,51281
rozsah centráží	12,40086
střední centráž	27,31238

Tab. 6.8 Mezní centráže

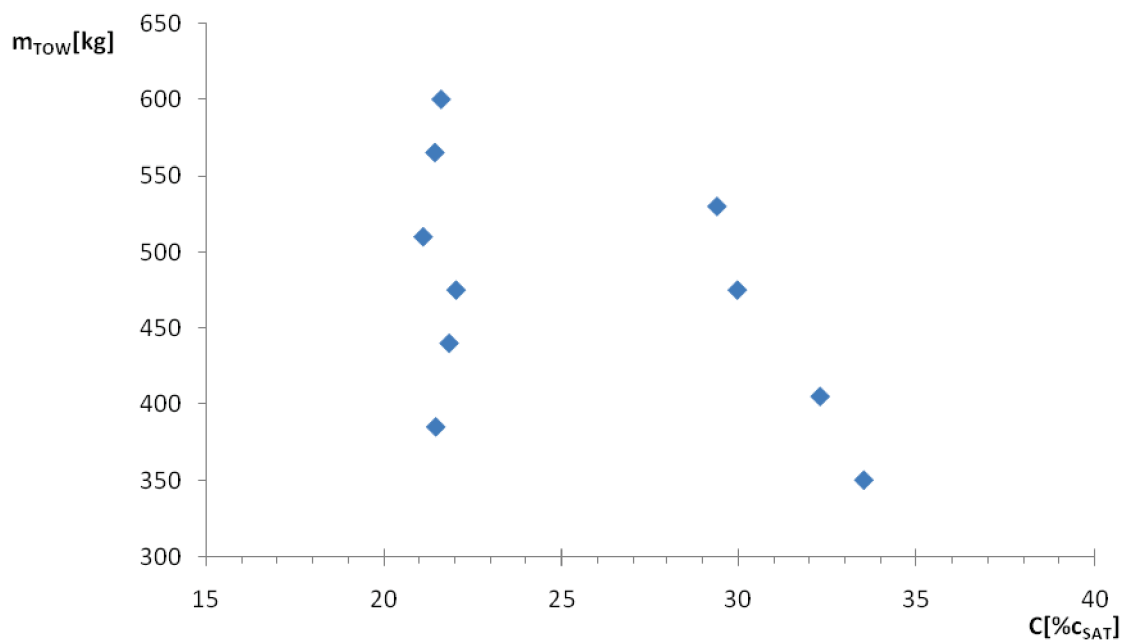
## 6.8 Diagram centrází

Závislost vzletové hmotnosti na poloze těžiště:



Obr. 6.2 Centráže v absolutních souřadnicích

Závislost vzletové hmotnosti na centrážích:



Obr. 6.3 Centráže v %  $c_{SAT}$

## 7 Momentové charakteristiky letounu

V této části jsou řešeny pouze charakteristiky potřebné k zjištění vyvažovacího vztlaku na VOP v ustáleném rovnovážném režimu letu. Tyto charakteristiky jsou řešeny v souladu s literaturou [1].

### 7.1 Náhradní křídlo

Metodika popsaná v [1] platí pouze pro konvenční jednoduchá lichoběžníková křídla s úhlem šípu do  $45^\circ$  a minimální štíhlostí  $Ar = 2,5$ . Proto bylo pro výpočet momentových charakteristik vytvořeno náhradní křídlo, jehož plocha, rozpětí a střední aerodynamická těživa se co nejvíce shodují se skutečným navrhovaným křídlem. Geometrické charakteristiky náhradního křídla:

Profil	FX-67-K-1570/17
Plocha	$S=12,87 \text{ m}^2$
Rozpětí	$b=15 \text{ m}$
Štíhlost	$Ar=17,48$
Zúžení křídla	$\eta_1=0,34$
Úhel zkroucení koncového profilu	$\alpha_{zkr}=-2^\circ$
Úhel vzepětí	$\Gamma_1=4^\circ$
Úhel šípu	$\chi=0^\circ$
Hloubka kořenového profilu	$c_0=1,276 \text{ m}$
Hloubka koncového profilu	$c_k=0,44 \text{ m}$
Hloubka střední aerodynamické těživy	$c_{SAT}=0,9259 \text{ m}$
Poloha střední aerodynamické těživy	$x_{cSAT}=0,0875 \text{ m}$
	$y_{cSAT}=3,141 \text{ m}$

Tab. 7.1 Geometrické charakteristiky náhradního křídla



Obr. 7.1 Srovnání navrhovaného a náhradního křídla

### 7.2 Klopivý moment křídla při nulovém vztlaku

$$c_{m0kř} = \frac{Ar \cdot \cos^2 \chi}{Ar + 2 \cdot \cos \chi} \cdot \frac{c_{m00} + c_{m0k}}{2} + (\Delta c_{m0} / \alpha_{zkr}) \cdot \alpha_{zkr}$$



## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

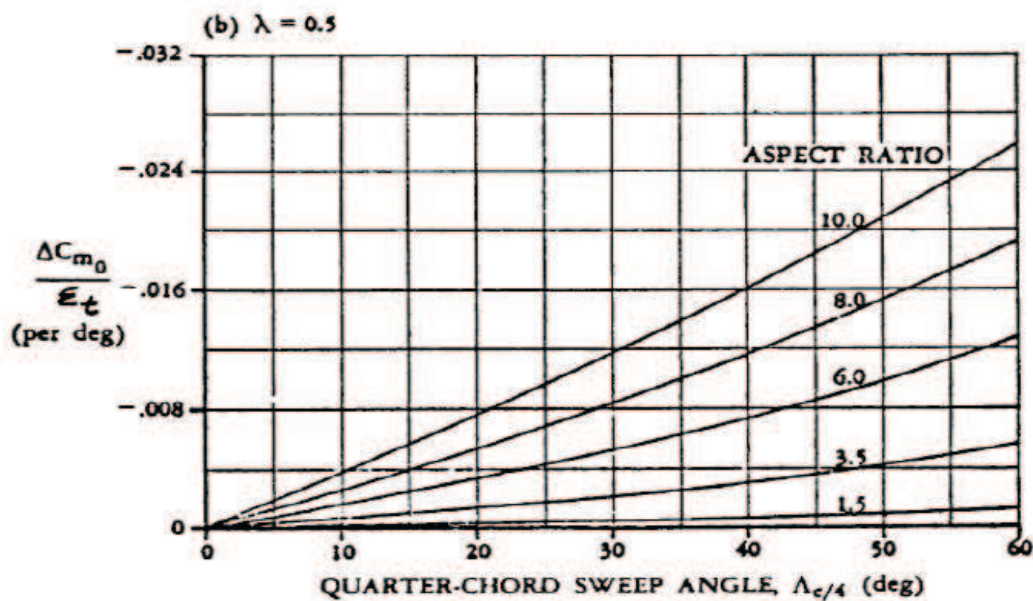
kde  $c_{m0_0}$  je součinitel klopivého momentu při nulovém vztlaku kořenového profilu

$c_{m0_k}$  je součinitel klopivého momentu při nulovém vztlaku koncového profilu

$$c_{m0_0} = c_{m0_k} = -0,104$$

$\Delta c_{m0}/\alpha_{zkr}$  je definováno na obr. 7.2

$$(\Delta c_{m0}/\alpha_{zkr}) = 0$$



Obr. 7.2 Vliv zúžení a úhlu šípu na klopivý moment křídla

Po dosazení:

$$c_{m0_{kř}} = \frac{17,48 \cdot \cos^2 0^\circ}{17,48 + 2 \cdot \cos 0^\circ} \cdot \frac{-0,104 + (-0,104)}{2} + 0 \cdot (-2^\circ) = -0,09332$$

### 7.3 Přírůstek klopivého momentu křídla od vychýlené klapky

Je počítán pro maximální výchylku klapky  $12^\circ$ . Výpočet je proveden podle vztahu:

$$\Delta c_{m_{kř}} = (\overline{x_{ref}} - 0,25) \cdot c_{Lmax\ 12^\circ} + K_\chi \cdot \frac{Ar}{1,5} \cdot \Delta c_{Lref} \cdot tg\chi + K_p \cdot \left( \frac{\Delta c'_m}{\Delta c_{Lref}} \right) \cdot \Delta c_{Lref} \cdot \left( \frac{c'}{c} \right)^2 - K_p \cdot \left\{ 0,25 \cdot c_{Lmax} \cdot \left[ \left( \frac{c'}{c} \right)^2 - \left( \frac{c'}{c} \right) \right] \right\} + K_p \cdot c_{m0_{kř}} \cdot \left[ \left( \frac{c'}{c} \right)^2 - 1 \right]$$

kde  $\overline{x_{ref}}$  je poloha referenčního bodu (těžiště pro střední centráž) vztážená k SAT  $\overline{x_{ref}} = 0,273$

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

- $c_{Lmax}$  je maximální součinitel vztlaku křídla, stanovený v kapitole 4.14
- $c_{Lmax\ 12^\circ}$  je maximální součinitel vztlaku křídla s vychýlenou klapkou stanovený v kapitole 4.14
- $\Delta c_{Lref}$  je přírůstek vztlaku od klapek u referenčního křídla, pro které platí: klapka po celém rozpětí,  $Ar = 6$ ,  $\chi_{c/2} = 0^\circ$ .  
Může být stanoven jako:

$$\Delta c_{Lref} = K_b \cdot \Delta c_l \cdot \frac{c_{L\alpha ref}}{c_{l\alpha}} \cdot \frac{(\alpha_\delta)_{c_L}}{(\alpha_\delta)_{c_l}}$$

kde  $K_b$  je faktor rozpětí klapky ( $K_b = 1$ )

$\Delta c_l$  je přírůstek vztlaku profilu od vých. klapky

$$(\Delta c_l = 0,25)$$

$c_{L\alpha ref}$  je sklon vztlakové čáry referenčního křídla

$$c_{L\alpha ref} = \frac{2\pi \cdot Ar}{2 + \sqrt{\frac{Ar^2}{\left(\frac{c_{l\alpha}}{2\pi}\right)^2} \cdot (1 + tg^2 \chi_{c/2}) + 4}}$$

$$c_{L\alpha ref} = \frac{2\pi \cdot 6}{2 + \sqrt{\frac{6^2}{\left(\frac{6}{2\pi}\right)^2} \cdot (1 + tg^2 0) + 4}} = 4,3868$$

$c_{l\alpha}$  je sklon vztlakové čáry profilu ( $c_{l\alpha} = 6$ )

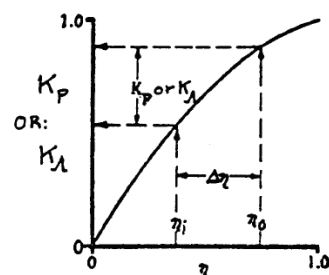
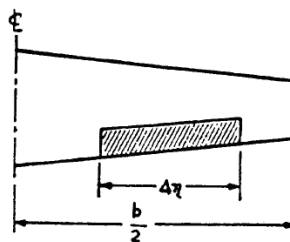
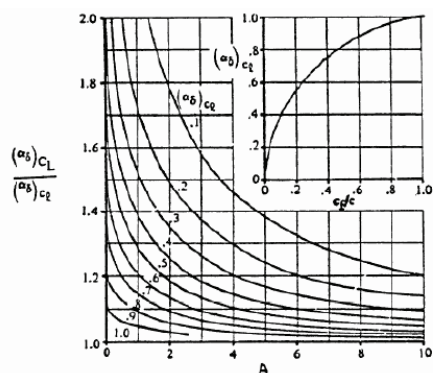
$\frac{(\alpha_\delta)_{c_L}}{(\alpha_\delta)_{c_l}}$  je poměr 3D parametru účinnosti klapku ke 2D parametru účinnosti klapky podle obr 7.3

$$\frac{(\alpha_\delta)_{c_L}}{(\alpha_\delta)_{c_l}} = 1,1$$

Po dosazení:

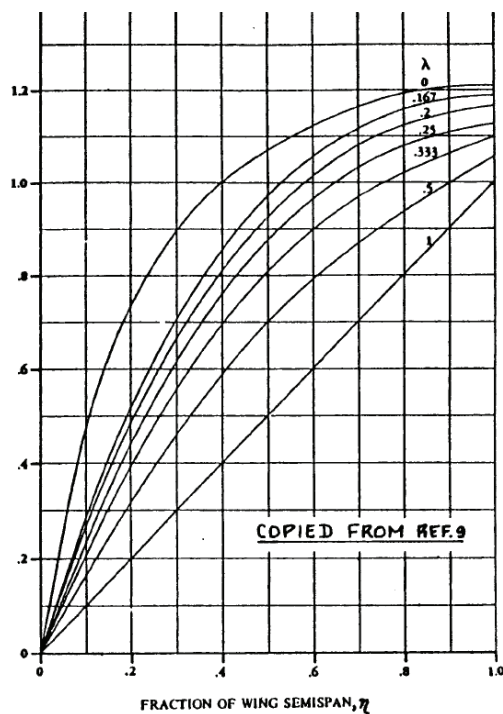
$$\Delta c_{Lref} = 1 \cdot 0,25 \cdot \frac{4,3868}{6} \cdot 1,1 = 0,201$$

$K_p$  je faktor rozpětí klapky, který je určen způsobem naznačeným na obr. 7.4, aplikovaným na obr. 7.5  $K_p = 1,03$



Obr. 7.3 Vliv štíhlosti na účinnost klapky

Obr. 7.4 Způsob stanovení faktoru rozpětí klapky



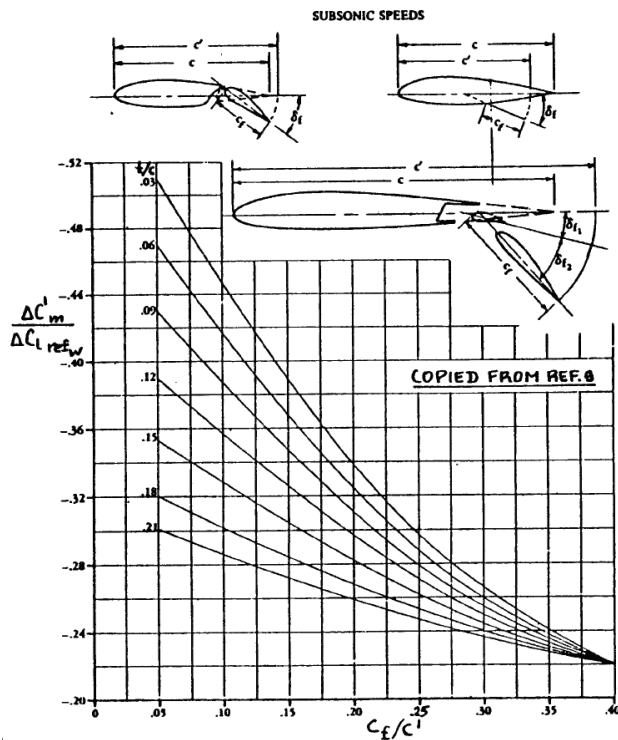
Obr. 7.5 Faktor rozpětí klapky

$$\frac{c'}{c} = 1$$

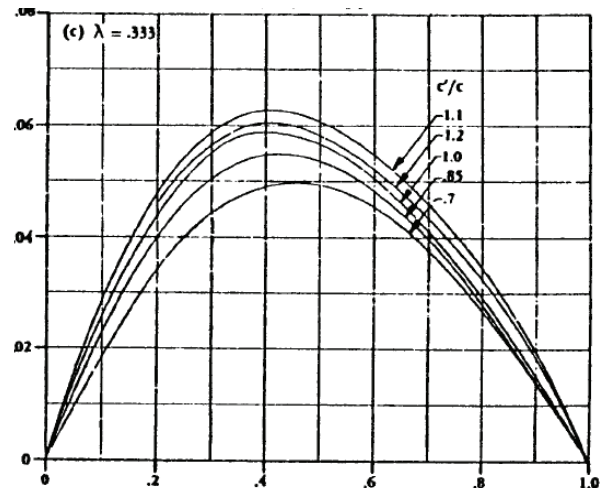
je poměr hloubky křídla s vysunutou a zasunutou klapkou

$$\frac{\Delta c'_m}{\Delta c_{Lref}}$$

je definováno na obr.7.6  $\frac{\Delta c'_m}{\Delta c_{Lref}} = -0,29$



Obr. 7.6 Vliv vztlaku na klopivý moment referenčního křídla šípovitosti



Obr. 7.7 Vliv rozpětí klapky a

$K_\chi$  převodní faktor, který zahrnuje vliv rozpětí klapky a vliv šípu. Viz obr. 7.7 s použitím principu na obr. 7.4  $K_\chi = 0,006$

$c_{m0_{k\check{r}}}$  je klopivý moment křídla při nulovém vztlaku, získaný v odstavci 7.1

Po dosazení:

$$\begin{aligned} \Delta c_{m_{k\check{r}}} &= (0,273 - 0,25) \cdot 1,5552 + 0,006 \cdot \frac{17,48}{1,5} \cdot 0,201 \cdot \operatorname{tg}(-5,4^\circ) + 1,03 \cdot (-0,29) \cdot \\ &\cdot 0,201 \cdot 1^2 - 1,03 \cdot \{0,25 \cdot 1,2954 \cdot [(1)^2 - (1)]\} + 1,03 \cdot (-0,0846) \cdot [1^2 - 1] = \\ &= -0,0256 \end{aligned}$$

## 7.4 Klopivý moment kombinace křídlo-trup

$$c_{m0_{KT}} = c_{m0_{kř}} + \Delta c_{m_{kř}} + c_{m0_{tr}}$$

kde  $c_{m0_{kř}}$  je vyjádřeno v odstavci 7.2

$c_{m0_{tr}}$  součinitel klopivého momentu od trupu. Je vyjádřen rovnicí:

$$c_{m0_{tr}} = \frac{(k_2 - k_1)}{36,5 \cdot S \cdot c_{SAT}} \cdot \sum_{i=1}^n b_{tri}^2 \cdot (\varphi_{kř} + \alpha_{0_{kř}} + \varphi_{str}) \cdot \Delta x_i$$

kde  $(k_2 - k_1)$  je vyjádřeno na obr. 7.8  $(k_2 - k_1) = 0,86$

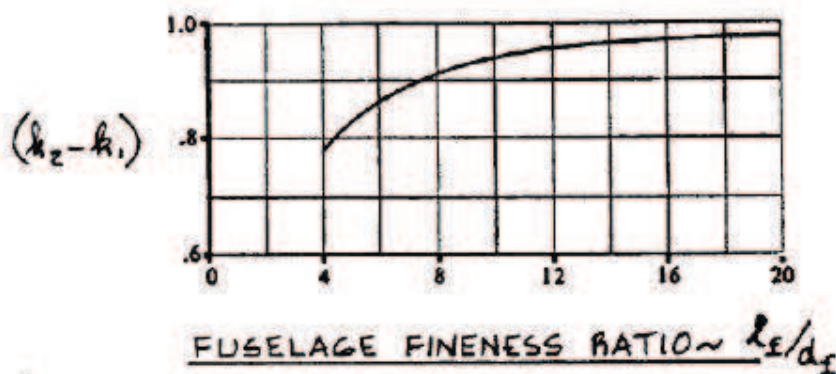
$b_{tri}$  je střední šířka segmentu trupu (viz obr. 7.9)

$\Delta x_i$  je délka segmentu trupu (viz obr. 7.9)

$\varphi_{kř}$  je úhel nastavení kořenového profilu křídla  
 $\varphi_{kř} = 0^\circ$

$\alpha_{0_{kř}}$  je úhel nulového vztlaku křídla  $\alpha_{0_{kř}} = -4,7663^\circ$

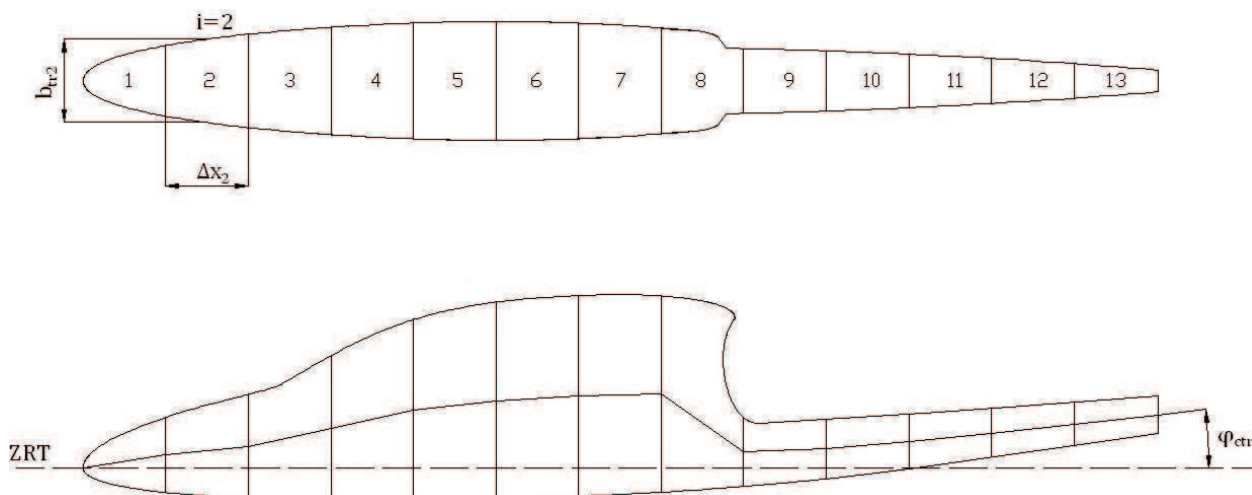
$\varphi_{str}$  úhel, který svírá střední čára trupu se základní rovinou trupu ve středu každého segmentu (viz obr. 7.9)



Obr. 7.8 Součinitel  $(k_2 - k_1)$

Výpočet a celková hodnota součinitele klopivého momentu od trupu je uveden v tab. 7.2.

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22



Obr. 7.9 Segmenty trupu

Úsek	$\Delta x_i$ [m]	$b_{tri}$ [m]	$\varphi_{kf}$ [°]	$\alpha_{0kf}$ [°]	$\varphi_{str}$ [°]	$b_{tr,2} \cdot \bar{\alpha} \cdot (\varphi_{2\alpha} + \alpha_{0,2\alpha} + \varphi_{\varphi_{2\alpha}}) \cdot \Delta x_i$	$\Sigma$	$\bar{E}_{voad_{xy}}$
1	0,525	0,33	0	-4,7663	9	0,242	-5,944	-0,0121
2	0,525	0,525	0	-4,7663	6	0,179		
3	0,525	0,639	0	-4,7663	12	1,551		
4	0,525	0,71	0	-4,7663	12	1,914		
5	0,525	0,749	0	-4,7663	6	0,363		
6	0,525	0,749	0	-4,7663	3	-0,520		
7	0,525	0,706	0	-4,7663	1	-0,986		
8	0,525	0,551	0	-4,7663	-35	-6,338		
9	0,525	0,397	0	-4,7663	-2	-0,560		
10	0,525	0,361	0	-4,7663	-5	-0,668		
11	0,525	0,316	0	-4,7663	-6	-0,564		
12	0,525	0,257	0	-4,7663	-6	-0,373		
13	0,536	0,178	0	-4,7663	-6	-0,183		

Tab. 7.2 Klopivý moment vlivem trupu

Výsledný klopivý moment kombinace křídlo-trup:

- bez výchytky klapky  $c_{m0_{KT}} = -0,08465 + 0 - 0,0121 = -0,09675$
- s výchytkou klapky 12°  $c_{m0_{KTkl}} = -0,08465 - 0,0256 - 0,0121 = -0,12235$

## 7.5 Aerodynamický střed křídlo-trup

Aerodynamický střed kombinace křídlo-trup je dán vztahem:

$$\overline{x_{A_{KT}}} = \overline{x_{A_{kř}}} + \Delta \overline{x_{A_{tr}}}$$

kde  $\overline{x_{A_{kř}}}$  je aerodynamický střed křídla  $\overline{x_{A_{kř}}} = 0,25$

$\Delta \overline{x_{A_{tr}}}$  je posun aerodynamického středu vlivem trupu, stanovený podle:

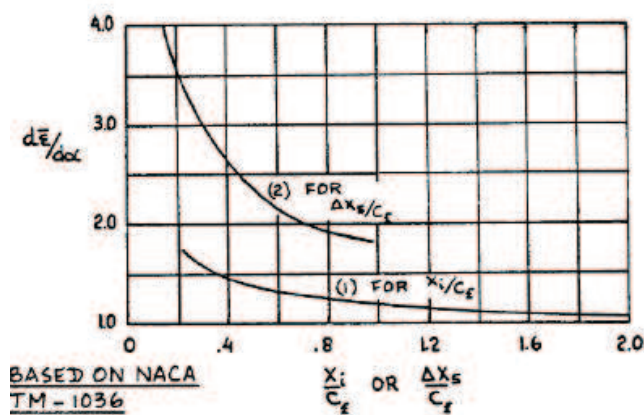
$$\Delta \overline{x_{A_{tr}}} = -\frac{1}{36,5 \cdot 0,08 \cdot S \cdot c_{SAT}} \cdot \sum_{i=1}^n b_{tr_i}^2 \cdot \left(\frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial \alpha}\right)_i \cdot \Delta x_i$$

kde  $b_{tr_i}$  a  $\Delta x_i$  jsou veličiny definovány v obr. 7.9

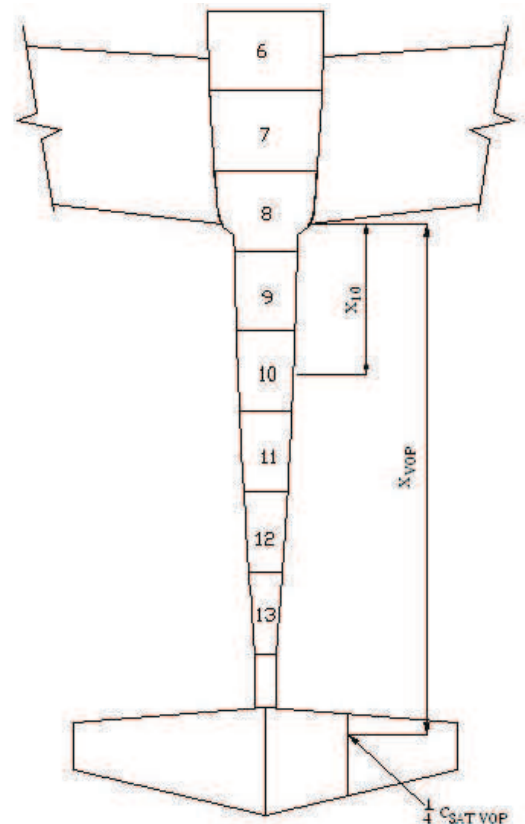
$\left(\frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial \alpha}\right)_i$  je pro  $i = 1 \div 5$  dáno obr. 7.10

pro  $i = 6 \div 13$   $\left(\frac{\partial \bar{\varepsilon}}{\partial \alpha}\right)_i = \frac{x_i}{x_{VOP}} \cdot \left(1 - \frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha}\right)$

$\frac{x_i}{x_{VOP}}$  je dáno obr. 7.11



Obr. 7.11 Vliv trupu na úhel zešíkmení



Obr. 7.10 Schéma k výpočtu aerodynamického středu



Výpočet posunutí aerodynamického středu vlivem trupu je uveden v tab. 7.3.

Úsek	$\Delta x_i$ [m]	$b_{tri}$ [m]	$\frac{b_{tri}^2}{4}$	$\frac{b_{tri}^2}{4} \cdot \frac{\Delta x_i}{\Delta x_{\Sigma}}$	$\Sigma$	$\overline{x_{A_{KT}}}$
1	0,525	0,33	1,1	0,06288975	1,165602	-0,03451
2	0,525	0,525	1,15	0,166408594		
3	0,525	0,639	1,2	0,25724223		
4	0,525	0,71	1,25	0,330815625		
5	0,525	0,749	1,35	0,397609459		
6	0,525	0,749	-0,26	-0,076576637		
7	0,525	0,706	-0,13	-0,034018257		
8	0,525	0,551	-0,05	-0,007969526		
9	0,525	0,397	0,1	0,008274473		
10	0,525	0,361	0,23	0,015736261		
11	0,525	0,316	0,36	0,018872784		
12	0,525	0,257	0,47	0,016297591		
13	0,536	0,178	0,59	0,010019748		

Tab. 7.3 Posunutí aerodynamického středu vlivem trupu

Výsledný aerodynamický střed kombinace křídlo-trup:

$$\overline{x_{A_{KT}}} = 0,25 - 0,03451 = 0,2159$$

## 7.6 Aerodynamický střed letounu

Aerodynamický střed letounu lze vyjádřit jako:

$$\overline{x_A} = \overline{x_{A_{KT}}} + k_{VOP} \cdot \frac{a_{VOP}}{a} \cdot \overline{V_{VOP}} \cdot \left(1 - \frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha}\right)$$

kde  $\overline{x_{A_{KT}}}$  je aerodynamický střed křídlo trup, podle odstavce 7.5

$k_{VOP}$  je součinitel snížení dynamického tlaku na VOP  $k_{VOP} = 0,93$

$a_{VOP}$  je sklon vztlkové čáry VOP, stanoven v odstavci 5.2  
 $a_{VOP} = 0,7821$

$a$  je sklon vztlakové čáry letounu. Je vyjádřen rovnicí:

$$a = a_{KT} + a_{VOP} \cdot k_{VOP} \cdot \frac{S_{VOP}}{S} \cdot \left(1 - \frac{\partial \varepsilon}{\partial \alpha}\right)$$

Předpokládáme, že  $a_{KT} = a_{kř} = 5,549$ . Potom po dosazení:

$$a = 5,549 + 3,7821 \cdot 0,93 \cdot \frac{1,25}{12,87} \cdot 0,78 = 5,8173$$

$\overline{V_{VOP}}$  je mohutnost VOP vztažená k aerodynamickému středu křídlo-trup

$$\overline{V_{VOP}} = \frac{S_{VOP} \cdot l_{VOP}}{S \cdot c_{SAT}} = \frac{1,25 \cdot 4,3587}{12,87 \cdot 0,8988} = 0,471$$



Výsledný aerodynamický střed letounu

$$\overline{x_A} = 0,2159 + 0,93 \cdot \frac{3,7821}{5,8173} \cdot 0,471 \cdot 0,78 = 0,438$$

## 7.7 Sklon momentové čáry letounu

Sklon momentové čáry letounu může být stanoven ze vztahu:

$$\frac{\partial c_m}{\partial c_L} = \overline{x_{ref}} - \overline{x_A}$$

kde  $\overline{x_{ref}}$  je poloha referenčního bodu (těžiště pro střední centráž)  
vztahovaná k SAT

$$\overline{x_{ref}} = 0,273$$

Výsledný sklon momentové čáry letounu je

$$\frac{\partial c_m}{\partial c_L} = 0,273 - 0,438 = -0,165$$

## 7.8 Statická zásoba s pevným řízením

Statická zásoba stability s pevným řízením je dána zadní krajní polohou těžiště letounu a polohou aerodynamického středu.

$$\sigma_S = \overline{x_A} - \overline{x_T} = 0,438 - 0,335 = 0,103$$

Statická zásoba stability je 10,3% střední aerodynamické tětiny. To odpovídá minimální požadované statické zásobě při návrhu VOP v kapitole 5.2.

## 8 Polára letounu

Výpočet odporové poláry je proveden podle [1]. Jedná se o hrubý odhad, který slouží pro předběžné stanovení minimálního odporu letounu, potřebného pro výpočet maximální rychlosti letu. Dále nám umožňuje odhadnout klouzavost letounu.

### 8.1 Stanovení omočené plochy

Na celkové omočené ploše se podílí:

- trup a křídlo  $S_{WET1} = 16,23 \text{ m}^2 = 174,7 \text{ ft}^2$
- VOP  $S_{WET2} = 1,257 \text{ m}^2 = 13,53 \text{ ft}^2$
- křídlo  $S_{WET3} = 26,58 \text{ m}^2 = 286,1 \text{ ft}^2$

Velikosti ploch byly zjištěny pomocí počítačového modelu geometrie v programu Catia.

Celková omočená plocha je

$$S_{WET} = \sum_{i=1}^4 S_{WETi} = 174,7 + 13,53 + 286,1 = 474,33 \text{ ft}^2$$

### 8.2 Ekvivalentní škodlivá plocha

Výpočet vychází z empiricky zjištěného vztahu

$$\log_{10} f = a + b \cdot \log_{10} S_{WET}$$

kde a,b jsou korelační koeficienty. Jsou závislé na ekvivalentním třecím odporu  $c_f$ .

$$\text{Pro } c_f = 0,005 \quad \Rightarrow \quad a = -2,301 \quad b = 1,000$$

Ekvivalentní škodlivá plocha je tedy:

$$f = 10^{a+b \cdot \log_{10} S_{WET}} = 10^{-2,301+1,000 \cdot \log_{10} 474,33} = 2,3718 \text{ ft}^2$$

### 8.3 Koeficient odporu

Součinitel škodlivého odporu podvozku byl převzat z [8].

$$\Delta c_{D_{0p}} = 0,003124$$

Koeficient odporu při nulovém vztlaku

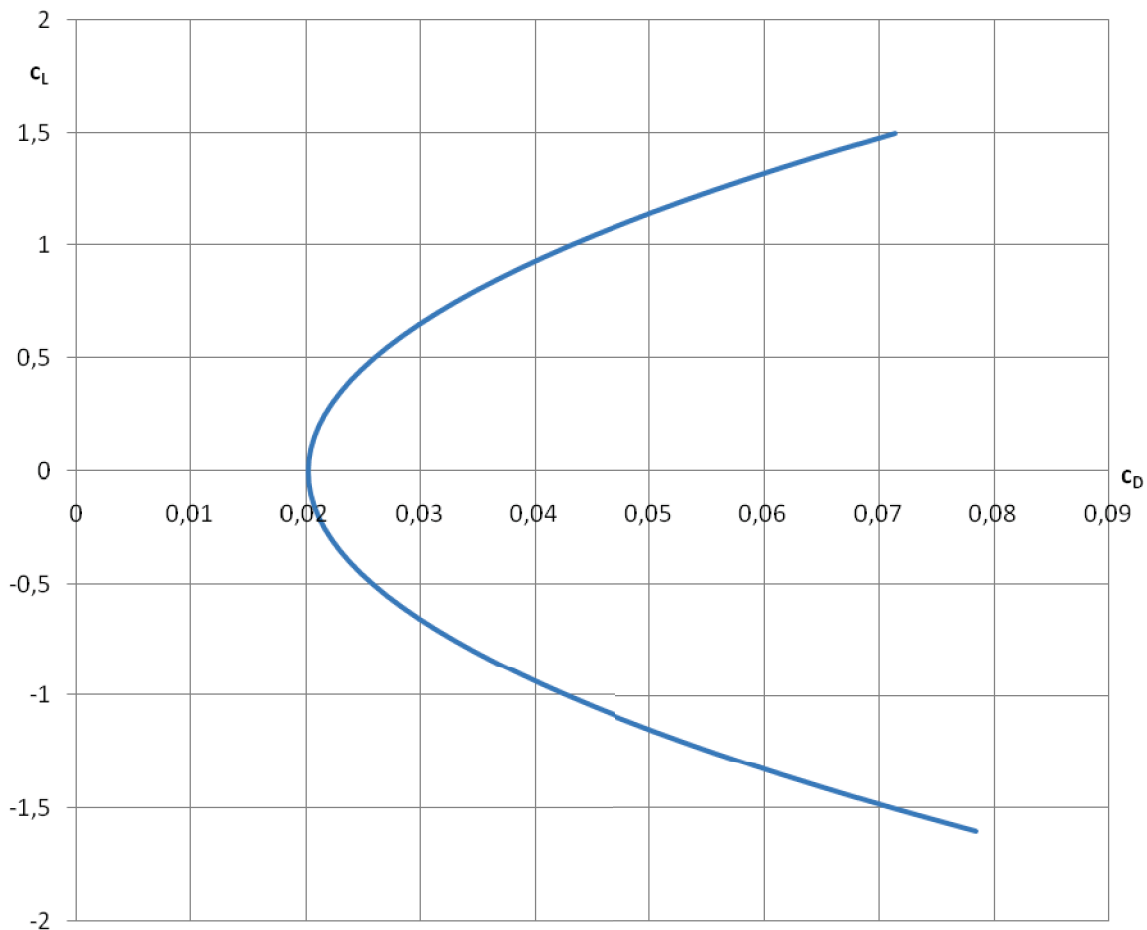
$$c_{D_0} = \frac{f}{S} + \Delta c_{D_{0p}} = \frac{2,3718}{138,53} + 0,003124 = 0,020245$$

## 8.4 Polára letounu

Odporová polára v analytickém tvaru

$$c_D = c_{D_0} + \frac{c_L^2}{\pi \cdot A \cdot e}$$

$$c_D = 0,020245 + 0,02276 \cdot c_L^2$$



Obr. 8.1 Odporová polára letounu

Klouzavost pro cestovní konfiguraci

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{max} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot A \cdot e}{c_{D_0}}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot 17,48 \cdot 0,8}{0,020245}} = 23,29$$

## 9 Letová obálka

Obálka zatížení je řešena pro 2 hmotnosti:

- a) maximální vzletová hmotnost letounu  $m_{TOW} = 600 \text{ kg}$   
 b) maximální vzletová hmotnost letounu bez paliva  $m_{ZFW} = 475 \text{ kg}$

Je řešena v souladu s předpisem CS-22. Podle tohoto předpisu musí být splněny požadavky jak obrátové, tak poryvové obálky.

### 9.1 Obrátová obálka

#### 9.1.1 Provozní násobky zatížení

Podle předpisu CS-22 musí být hodnoty násobků zatížení při obratech pro kluzáky kategorie Utility nejméně:

$n_1$	+5,3
$n_2$	+4,0
$n_3$	-1,5
$n_4$	-2,65

Tab. 9.1 Provozní násobky zatížení

#### 9.1.2 Návrhové rychlosti

- Pádová rychlost bez klapek

$$V_{S1} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho_0 \cdot S \cdot C_{Lmax}}}$$

- Pádová rychlost s plně vysunutými klapkami

$$V_{SF} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho_0 \cdot S \cdot C_{Lmax 12^\circ}}}$$

- Pádová rychlost pro let na zádech

$$V_{SG} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g}{\rho_0 \cdot S \cdot C_{Lmin}}}$$

- Návrhová obrátová rychlost

$$V_A = V_{S1} \cdot \sqrt{n_1}$$

- Návrhová obrátová rychlost pro let na zádech

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

$$V_G = V_{SG} \cdot \sqrt{n_4}$$

- Maximální rychlost horizontálního letu  
Určí se z rovnosti využitelného a potřebného tahu, s uvážením že při maximálních rychlostech tvoří indukovaný odpor jen malou část celkového odporu a můžeme jej zanedbat [10].

$$V_H = \sqrt{\frac{2 \cdot F_V}{c_{D0} \cdot \rho_0 \cdot S}}$$

- Maximální návrhová rychlost

$$V_D \geq 18 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{m}{S}\right) \cdot \left(\frac{1}{C_{Dmin}}\right)}$$

$$V_D \geq 1,35 \cdot V_H$$

- Návrhová rychlost s klapkami v přistávací konfiguraci  
 $V_F \geq \max[(1,4 \cdot V_{S1}); (2,0 \cdot V_{SF})]$
- Návrhová rychlost s klapkami v kladné cestovní konfiguraci  
 $V_F \geq \max[(2,7 \cdot V_{S1}); (1,05 \cdot V_A)]$
- Návrhová rychlost s klapkami pro ostatní konfigurace  
 $V_F = V_D$
- Návrhová rychlost poryvu

$$V_B \geq V_A$$

Vstupní data pro výpočet rychlostí obálky jsou uvedena v tab. 9.2. Shrnutí všech návrhových rychlostí je uvedeno v tab. 9.3.

$g \text{ [m.s}^{-2}\text{]}$	9,80665
$S \text{ [m}^2\text{]}$	12,87
$\rho_0 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$	1,2256
$c_{Lmax} \text{ [-]}$	1,2954
$c_{Lmax12^\circ} \text{ [-]}$	1,5552
$c_{Lmin} \text{ [-]}$	1,0363
$c_{D0} \text{ [-]}$	0,020245
$F_V \text{ [N]}$	905
$c_{SAT} \text{ [m]}$	0,8988
$a \text{ [m.s}^{-2}\text{]}$	5,549

Tab. 9.2 Vstupní data pro výpočet rychlostí

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

návrhová rychlost	m <sub>TOW</sub>		m <sub>TOWb.p.</sub>	
	m/s	km/h	m/s	km/h
V <sub>S1</sub>	24,00	86,39	21,35	76,87
V <sub>SF</sub>	21,90	78,85	19,49	70,16
V <sub>SG</sub>	26,83	96,59	23,87	85,94
V <sub>A</sub>	55,25	198,90	49,16	176,97
V <sub>G</sub>	43,68	157,24	38,86	139,91
V <sub>H</sub>	75,29	271,03	75,29	271,03
V <sub>D</sub>	101,67	366,00	101,67	366,00
V <sub>Fkl</sub>	43,89	158,00	39,17	141,00
V <sub>F+</sub>	65,00	234,00	57,78	208,00
V <sub>F0-</sub>	101,67	366,00	101,67	366,00
V <sub>B</sub>	61,11	220,00	55,56	200,00

## 9.3 Návrhové rychlosti obrátové obálky

## 9.2 Poryvová obálka

Násobky zatížení od poryvu se spočítají podle vztahu:

$$n = 1 \pm \left[ \frac{\left(\frac{k}{2}\right) \cdot \rho_0 \cdot U \cdot V \cdot a}{\left(\frac{m \cdot g}{S}\right)} \right]$$

kde:

$k$  je zmírňující součinitel poryvu, vypočtený dle vzorce:

$$k = \frac{0,88 \cdot \mu}{5,3 + \mu}$$

kde  $\mu$  je bezrozměrný hmotnostní poměr, vypočtený dle vzorce:

$$\mu = \frac{2 \cdot \frac{m}{S}}{\rho_0 \cdot c_{SAT} \cdot a}$$

$\rho_0$  je hustota vzduchu v 0 m MSA [kg·m<sup>-3</sup>]

$U$  je rychlost poryvu [m·s<sup>-1</sup>]

$V$  je ekvivalentní rychlost letu [m·s<sup>-1</sup>]

$a$  je sklon vztlakové čáry křídla [rad<sup>-1</sup>]

Při návrhové rychlosti poryvu V<sub>B</sub> musí být kluzák schopen odolávat pozitivním a negativním poryvům 15 m/s působícím kolmo na dráhu letu.

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

Při maximální návrhové rychlosti  $V_D$  musí být kluzák schopen odolávat pozitivním a negativním poryvům 7,5 m/s působícím kolmo na dráhu letu.

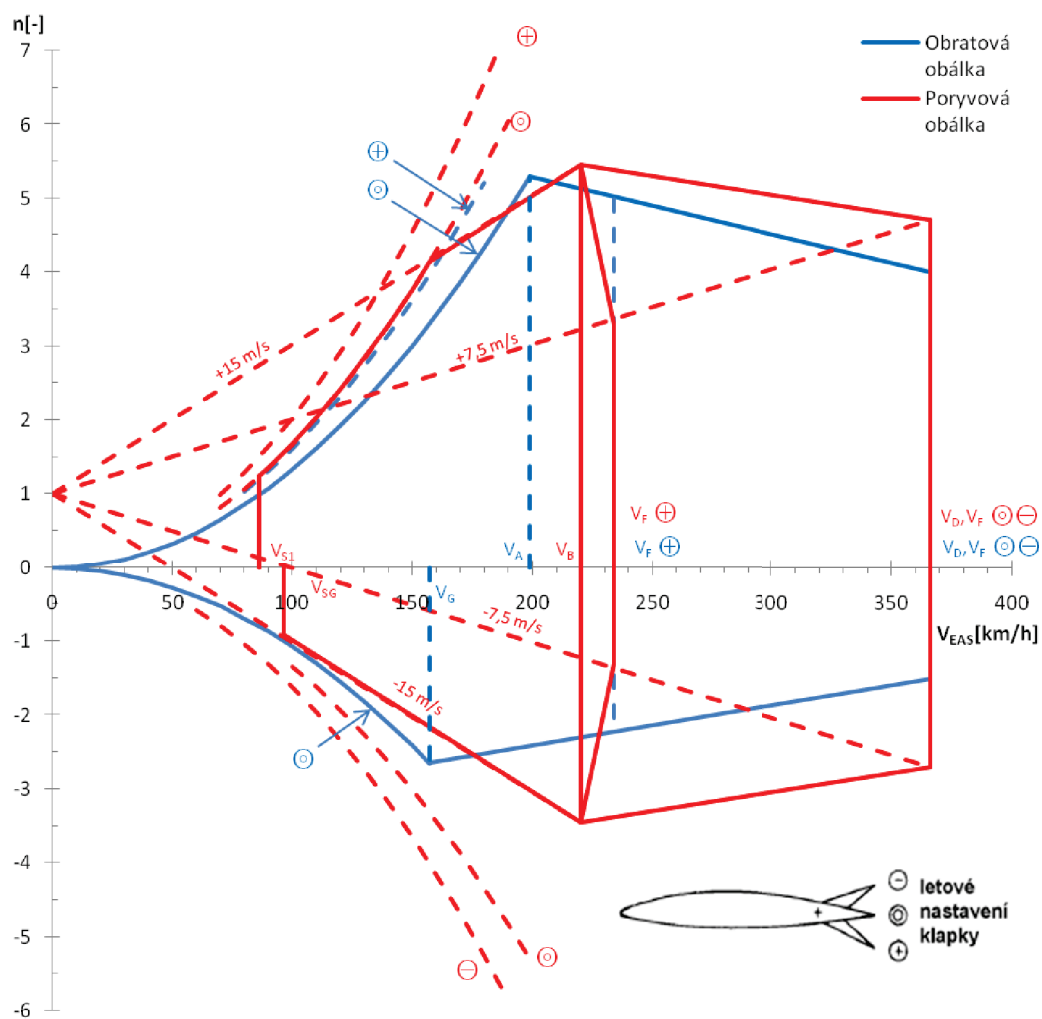
Výsledné násobky zatížení od poryvu jsou uvedeny v tab. 9.2.

hmotnost	rychlost	V[km/s]	U[m/s]	n[-]
$m_{TOW}$	$V_B$	61,11	15,0	5,45
			-15,0	-3,45
	$V_D$	101,67	7,5	4,70
			-7,5	-2,70
$m_{TOWb.p.}$	$V_B$	55,56	15,0	5,79
			-15,0	-3,79
	$V_D$	101,67	7,5	5,38
			-7,5	-3,38

Tab. 9.4 Násobky zatížení od poryvu

Grafické znázornění obálky je na obr. 9.1.

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

Obr. 9.1 Obálka zatížení pro  $m_{TOW}$



## 10 Výpočet zatížení křídla

### 10.1 Definice zatěžovacích případů

#### 10.1.1 Symetrické letové podmínky

Vztlakové klapky v letovém nastavení:

Dle CS 22.333 musí být prokázáno vyhovění požadavků na pevnost v každé kombinaci rychlosti letu a násobku zatížení v mezích obrátové a poryvové obálky.

Zatížení s vysunutými vztlakovými klapkami:

Dle CS 22.345 je nutno předpokládat, že kluzák se vztlakovými klapkami ve všech přistávacích nastaveních při rychlostech až do  $V_F$  bude vystaven:

- obrátům až po kladný provozní násobek 4
- pozitivním a negativním poryvům o rychlosti 7,5 m/s působícím kolmo k dráze letu.

#### 10.1.2 Nesymetrické letové podmínky

Dle předpisu CS 22.349 musí být kluzák konstruován na zatížení odpovídající plné výchylce křídélka pro rychlosti ne větší než  $V_A$  a třetinové výchylce křídélka pro rychlost  $V_D$  v kombinaci s násobkem zatížení minimálně 2/3 kladného obrátového násobku.

### 10.2 Potřebné součinitele vztlaku

Součinitel vztlaku na křídle se pro jednotlivé případy zatížení spočítá podle vztahu:

$$c_{Lkř} = \frac{2 \cdot n \cdot m \cdot g - F_{VOP}}{\rho \cdot V^2 \cdot S}$$

kde  $F_{VOP}$  je vyvažovací síla na VOP vyplývající z momentové rovnováhy. Podle [11] lze stanovit jako:

$$F_{VOP} = c_{m0KT} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot \frac{S \cdot c_{SAT}}{\widetilde{l_{VOP}}} + \frac{\partial c_m}{\partial c_L} \cdot \frac{n \cdot c_{SAT} \cdot m \cdot g}{\widetilde{l_{VOP}}}$$

kde  $c_{m0KT}$  je součinitel klopivého momentu letounu bez VOP, stanovený v odstavci 7.4

$\frac{\partial c_m}{\partial c_L}$  je sklon vztlakové čáry letounu, stanovený v odstavci 7.7

$\widetilde{l_{VOP}}$  je rameno VOP vztažené ke střední poloze těžiště

$m$  je hmotnost letounu. Pro výpočet zatížení křídla uvažujeme 2 případy:

$$a) m_{TOW} = 600 \text{ kg}$$

$$b) m_{ZFW} = 475 \text{ kg}$$

### 10.3 Přehled uvažovaných případů zatížení

Případ	Označení	V[km/h]	n[-]	$F_{VOP}$ [N]	$c_{Lkr}$ [-]
Kladný obratový případ při $V_A$	A	198,9	5,3	-1558,46	1,262979
Záporný obratový případ při $V_G$	G	157,24	-2,65	233,8801	-1,02856
Kladný poryvový případ při $V_B$	B+	220	5,45	-1697,16	1,059946
Záporný poryvový případ při $V_B$	B-	220	-3,45	105,8331	-0,68742
Kladný poryvový případ při $V_D$	D+	366	4,7	-2593,6	0,323338
Záporný poryvový případ při $V_D$	D-	366	-2,7	-1094,48	-0,2016
Klapkový případ při $V_F$	F	158	4	-1116,23	1,512526
Křídélkový případ při $V_A$ , výchylka dolů	$A_{kr+}$	198,9	3,53	-1199,89	0,837829
Křídélkový případ při $V_A$ , výchylka nahoru	$A_{kr-}$	198,9	3,53	-1199,89	0,837829
Křídélkový případ při $V_D$ , výchylka dolů	$D_{kr+}$	366	2,67	-2182,36	0,179335
Křídélkový případ při $V_D$ , výchylka nahoru	$D_{kr-}$	366	2,67	-2182,36	0,179335

Tab. 10.1 Případy zatížení pro  $m_{TOW}$

Případ	Označení	V[km/h]	n[-]	$F_{VOP}$ [N]	$c_{Lkr}$ [-]
Kladný obratový případ při $V_A$	*A	176,97	5,3	-1233,77	1,263016
Záporný obratový případ při $V_G$	*G	139,91	-2,65	185,139	-1,02849
Kladný poryvový případ při $V_B$	*B+	200	5,79	-1418,74	1,07886
Záporný poryvový případ při $V_B$	*B-	200	-3,79	117,6862	-0,72286
Kladný poryvový případ při $V_D$	*D+	366	5,38	-2504,29	0,292067
Záporný poryvový případ při $V_D$	*D-	366	-3,38	-1099,38	-0,19989
Klapkový případ při $V_F$	*F	141	4	-885,13	1,503501
Křídélkový případ při $V_A$ , výchylka dolů	* $A_{kr+}$	176,97	3,53	-949,902	0,837854
Křídélkový případ při $V_A$ , výchylka nahoru	* $A_{kr-}$	176,97	3,53	-949,902	0,837854
Křídélkový případ při $V_D$ , výchylka dolů	* $D_{kr+}$	366	2,67	-2069,67	0,139876
Křídélkový případ při $V_D$ , výchylka nahoru	* $D_{kr-}$	366	2,67	-2069,67	0,139876

Tab. 10.2 Případy zatížení pro  $m_{ZFW}$

### 10.4 Rozložení součinitelů vztlaku po rozpětí

Výpočet rozložení součinitele vztlaku byl proveden pomocí programu Glauert III. Výstupní soubor z programu obsahuje rozložení těchto hodnot:

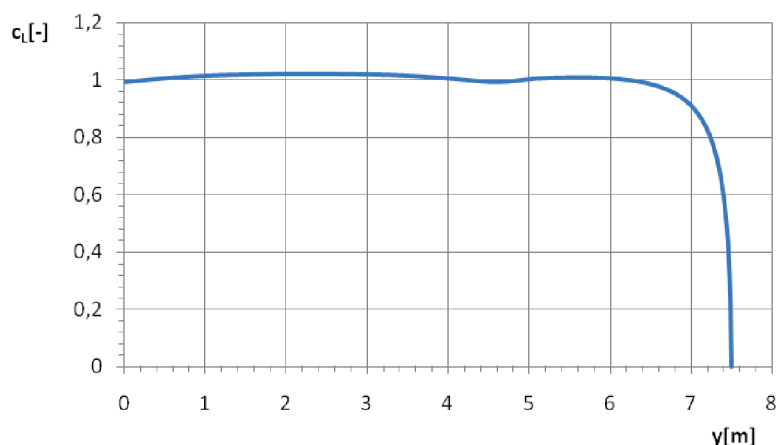
- $c$  - hloubka křídla v daném řezu
- $cl_n$  - hodnota normálního součinitele vztlaku
- $cl_o$  - hodnota nulového součinitele vztlaku
- $cl_{krsym}$  - hodnota symetrického součinitele vztlaku od výchylky křídélka (nulový)
- $cl_{krantis}$  - hodnota antisymetrického součinitele vztlaku od výchylky křídélka
- $cl_{kl}$  - hodnota součinitele vztlaku od výchylky klapky (nulový)

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

*cltlum* - hodnota místního součinitele vztlaku od tlumení

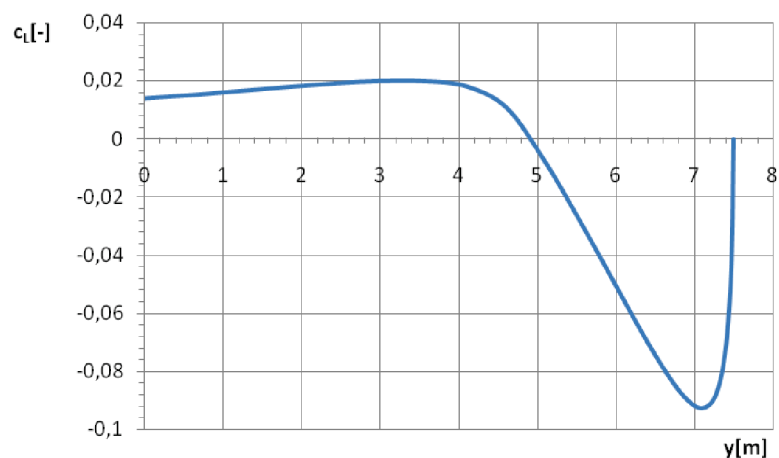
Poloha řezu	Hloubka křídla	symetrické případy			nesymetrické případy					
		bez klapky		s klapkou	plná výchylka křídélka			1/3 výchylka křídélka		
y[m]	c [m]	cln	cl0	clkl	clkrsym	clkrantisym	cltlum	clkrsym	clkrantisym	cltlum
7,5	0,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	0,444	0,3486	-0,0428	-0,0759	-0,012	0,166	-0,2795	-0,004	0,055	-0,0931
7,398	0,455	0,6072	-0,0725	-0,0715	-0,042	0,39	-0,4829	-0,014	0,13	-0,1609
7,271	0,474	0,7766	-0,0882	0,0096	-0,087	0,665	-0,6082	-0,029	0,222	-0,2026
7,094	0,5	0,8812	-0,0926	0,0304	-0,104	0,784	-0,6745	-0,035	0,261	-0,2248
6,868	0,533	0,9436	-0,0885	0,0395	-0,113	0,845	-0,7004	-0,038	0,282	-0,2334
6,596	0,573	0,9799	-0,0784	0,0439	-0,117	0,874	-0,699	-0,039	0,291	-0,2329
6,279	0,619	0,9998	-0,064	0,0459	-0,117	0,88	-0,6791	-0,039	0,293	-0,2263
5,919	0,672	1,0091	-0,0464	0,0467	-0,114	0,869	-0,6461	-0,038	0,29	-0,2153
5,518	0,731	1,011	-0,027	0,0466	-0,108	0,838	-0,6034	-0,036	0,279	-0,201
5,08	0,795	1,0066	-0,007	0,0458	-0,096	0,775	-0,5529	-0,032	0,258	-0,1842
4,607	0,864	0,9943	0,0108	0,0442	-0,067	0,626	-0,4954	-0,022	0,209	-0,1651
4,102	0,899	1,005	0,0181	0,0432	0,016	0,217	-0,4461	0,005	0,072	-0,1486
3,57	0,925	1,0157	0,0199	0,0412	0,037	0,109	-0,3922	0,013	0,037	-0,1307
3,013	0,953	1,0213	0,02	0,0376	0,046	0,064	-0,3326	0,016	0,022	-0,1108
2,435	0,981	1,0235	0,0192	0,0312	0,051	0,04	-0,2691	0,017	0,013	-0,0896
1,841	1,01	1,0228	0,018	0,0193	0,053	0,025	-0,2029	0,018	0,008	-0,0676
1,234	1,04	1,0188	0,0166	-0,0067	0,055	0,015	-0,1352	0,018	0,005	-0,045
0,619	1,07	1,0107	0,0152	-0,0969	0,055	0,007	-0,0671	0,018	0,002	-0,0223
0	1,1	0,9942	0,0141	-0,27	0,054	0	0	0,018	0	0

Tab. 10.3 Rozložení součinitelů vztlaku po rozpětí

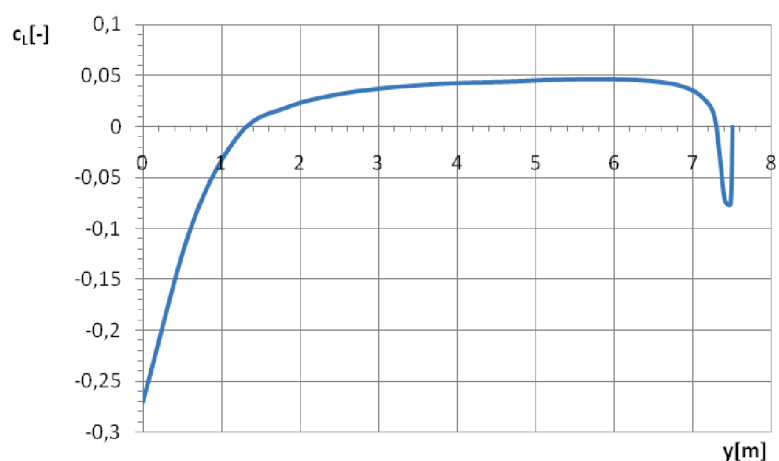


Obr. 10.1 Normální rozložení součinitele vztlaku

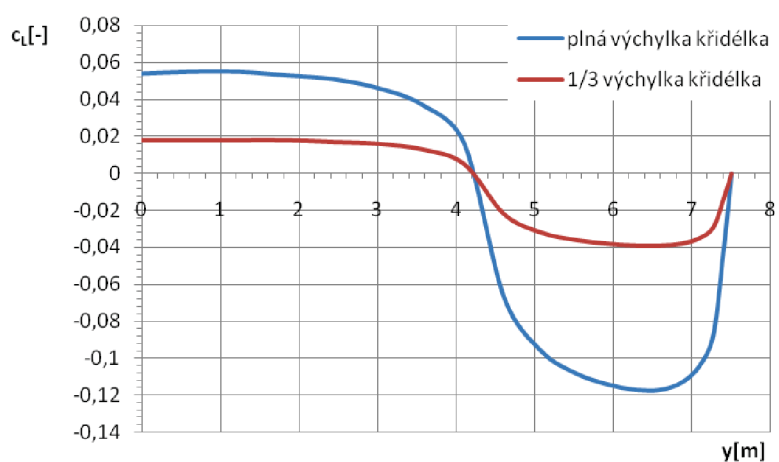
## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22



Obr. 10.2 Nulové rozložení součinitele vztlaku

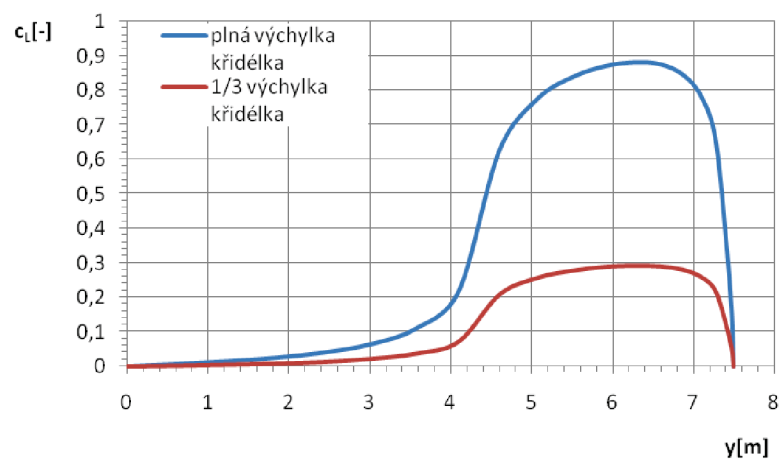


Obr. 10.3 Rozložení součinitele vztlaku od výchylky klapky 12°

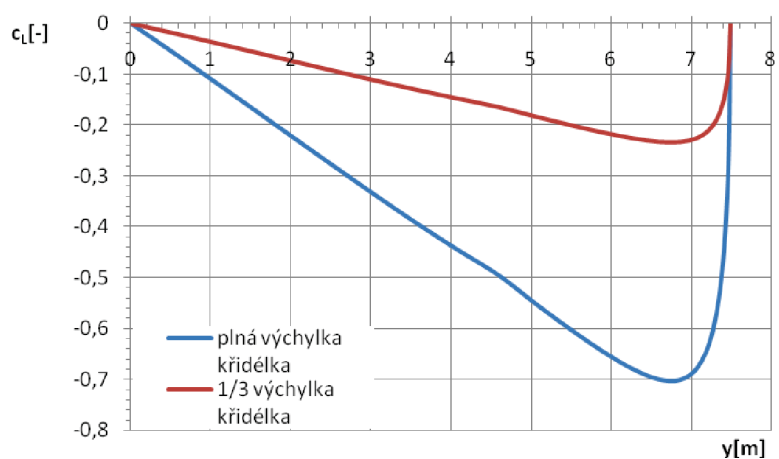


Obr. 10.4 Symetrické rozložení součinitele vztlaku od výchylky křídélka

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22



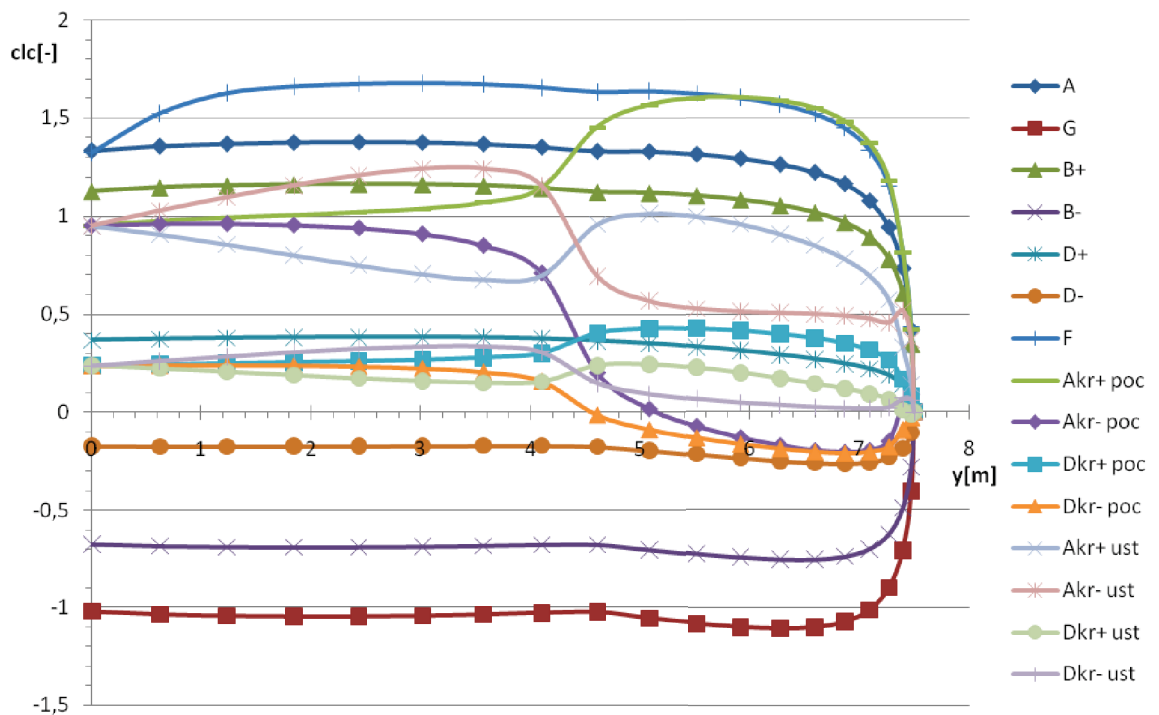
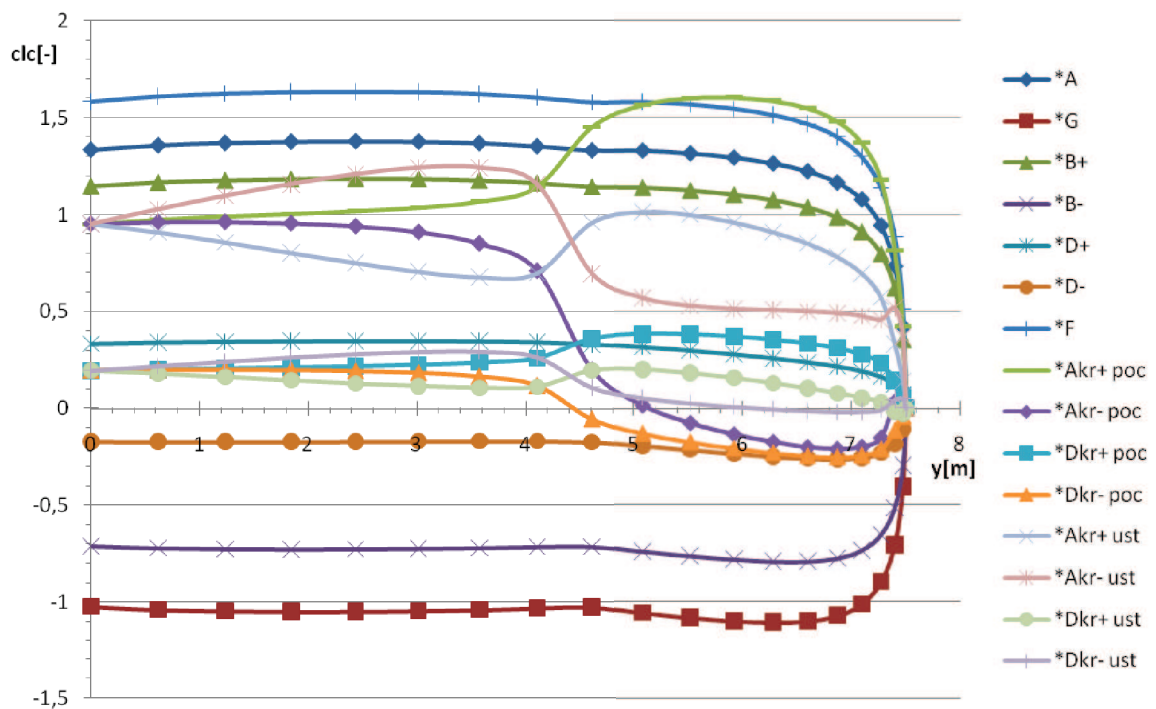
Obr. 10.5 Antisymetrické rozložení součinitele vztlaku od výchylky křídélka



Obr. 10.6 Rozložení součinitele vztlaku od tlumení klonění

Průběhy celkového rozložení součinitele vztlaku jsou pro jednotlivé případy zatížení uvedeny na obr.10.7 a 10.8.

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

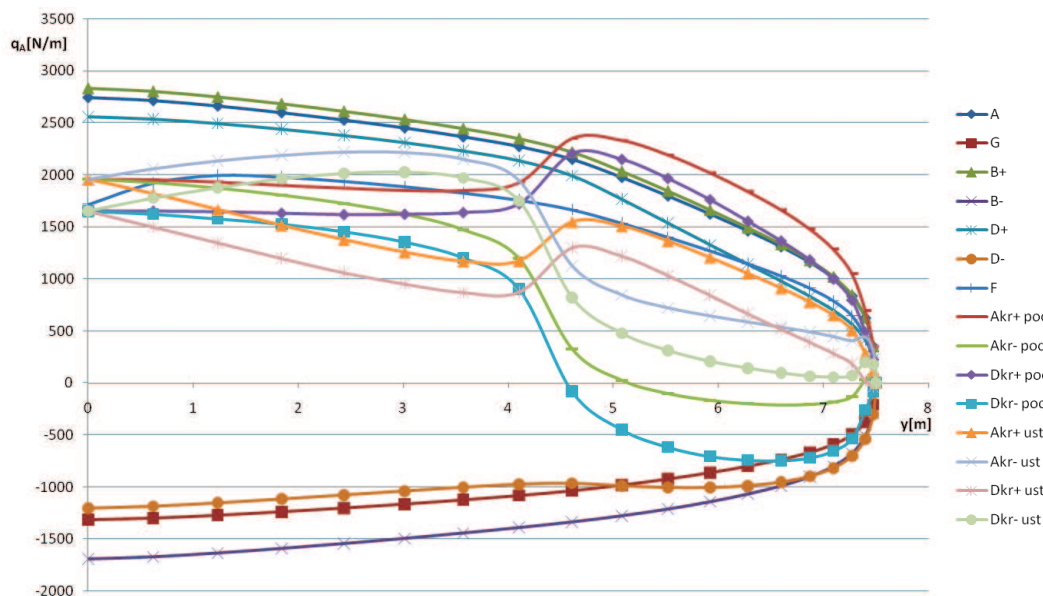
Obr. 10.7 Celkové rozložení součinitele vztlaku pro  $m_{TOW}$ Obr. 10.8 Celkové rozložení součinitele vztlaku pro  $m_{ZFW}$

## 10.5 Rozložení spojitého zatížení

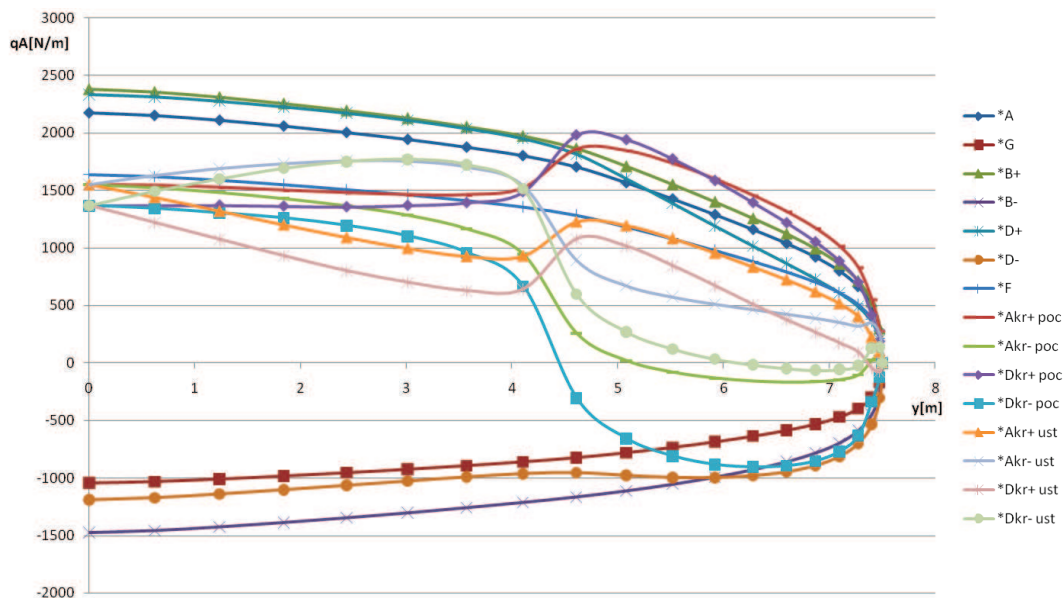
### 10.5.1 Spojité aerodynamické zatížení

Lze jej vyjádřit jako součin celkového součinitele vztlaku, místní hloubky křídla a dynamického tlaku:

$$q_A = c_{lc} \cdot c \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}$$



10.9 Spojité aerodynamické zatížení pro  $m_{TOW}$



Obr. 10.10 Spojité aerodynamické zatížení pro  $m_{ZFW}$

### 10.5.2 Spojité hmotové zatížení

Rozložení tíhy konstrukce křídla uvažujeme jako úměrné průběhu hloubek po rozpětí křídla. Rozložení tíhy paliva uvažujeme jako lineární a přičítáme jej pouze v té části rozpětí, kde je palivo uloženo. Výsledné rozložení tíhy po rozpětí křídla tedy bude:

$$q_G = \left( \frac{m_{kř} \cdot g}{S} \cdot c + \frac{m_{pal/2} \cdot g}{y_{pal}} \right) \cdot n$$

Pro případy zatížení, ve kterých působí rotační zrychlení (počátek klonění u křídélkových případů):

$$q_G = \left( \frac{m_{kř} \cdot g}{S} \cdot c + \frac{m_{pal} \cdot g}{y_{pal}} \right) \cdot (n + n_{\varepsilon_x})$$

kde  $n_{\varepsilon_x} = \frac{y \cdot \varepsilon_x}{g}$  je násobek zatížení od rotačního zrychlení.

Rotační zrychlení se spočítá podle vztahu:

$$\varepsilon_x = \frac{M_x}{J_x}$$

kde  $M_x$  je moment od antisymetrického rozložení vztaku od křidélek

$$M_x = \int_0^l T_z \cdot dy$$

$$T_z = \int_0^l \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot c_{lkranti} \cdot c \cdot dy$$

$J_x$  je moment setrvačnosti letounu. Podle [9] lze odhadnout jako

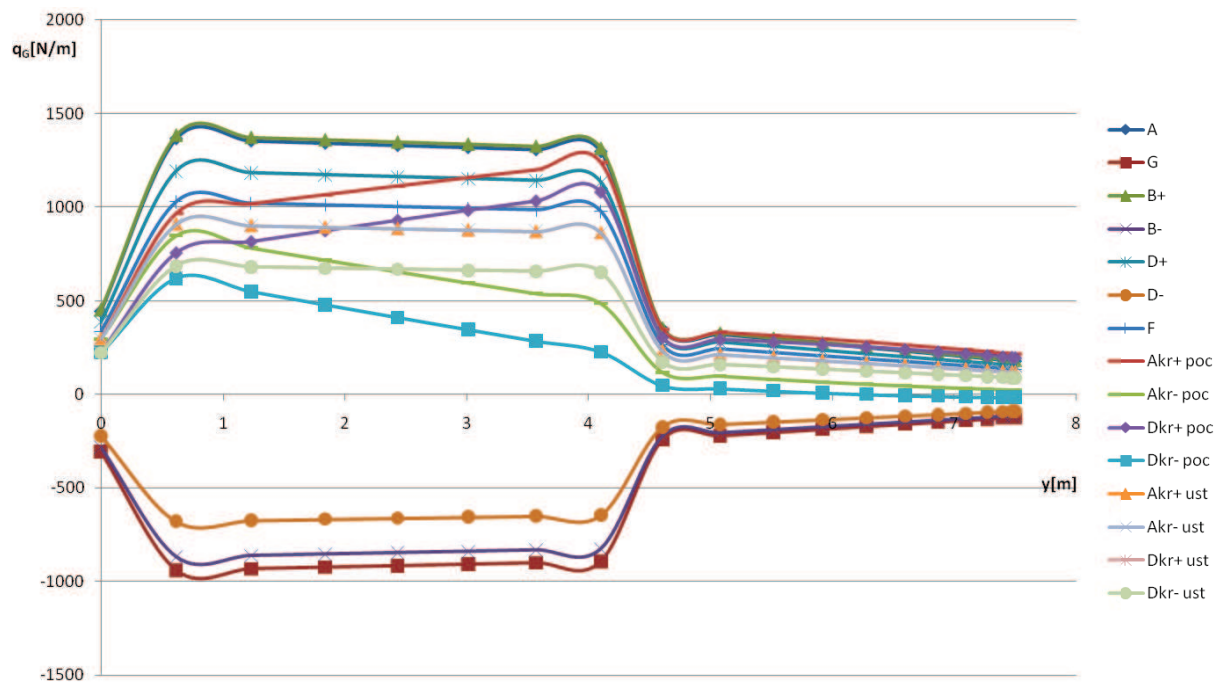
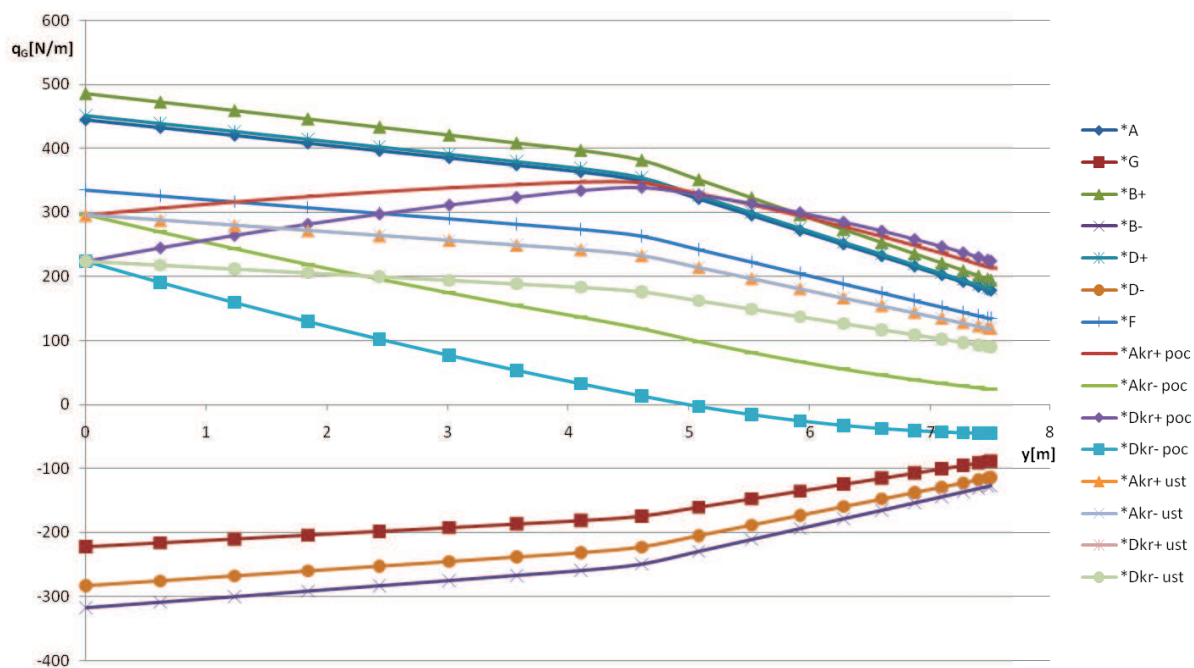
$$J_x = 0,038 \cdot m \cdot b^2$$

	$m_{TOW}$	$m_{ZFW}$
$m[\text{kg}]$	600	475
$J_x[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$	5130,00	4061,25

Tab. 10.4 Momenty setrvačnosti letounu



## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

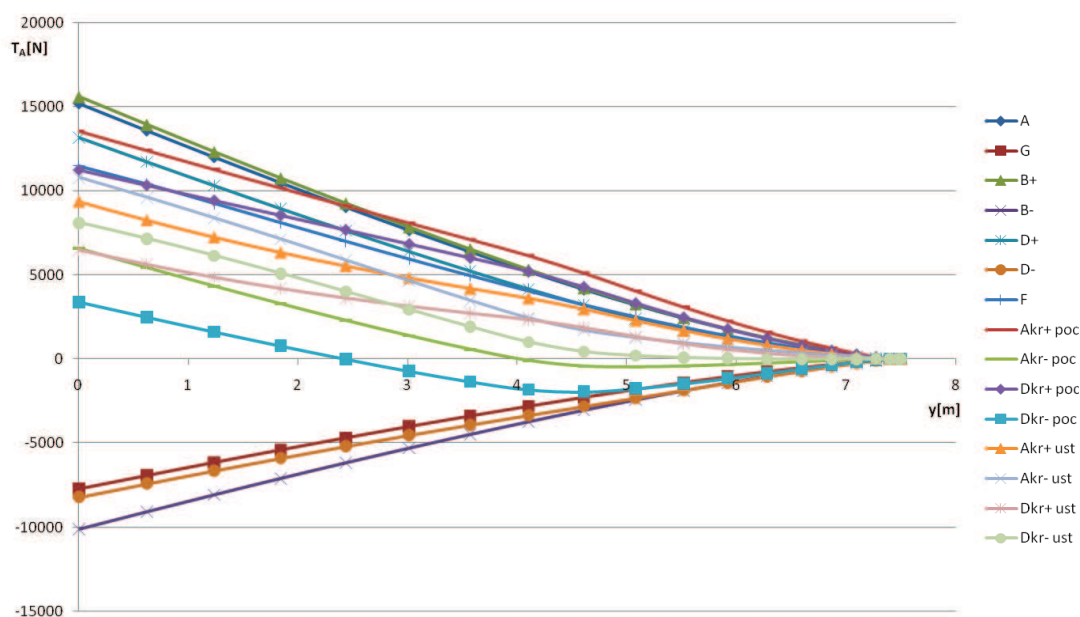
Obr. 10.11 Spojité hmotové zatížení pro  $m_{TOW}$ Obr. 10.12 Spojité hmotové zatížení pro  $m_{ZFW}$

## 10.6 Posouvající síla

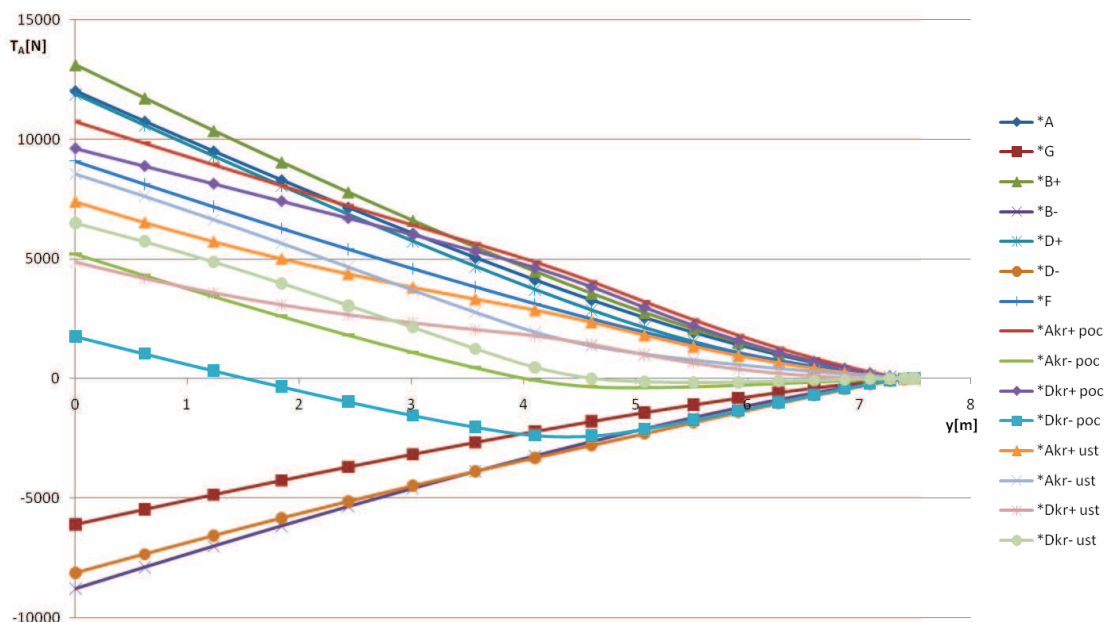
### 10.6.1 Posouvající síla od aerodynamických zatížení

Posouvající síla se určí integrací spojitého zatížení od volného konce křídla.

$$T_A = \int_l^y q_A dy$$



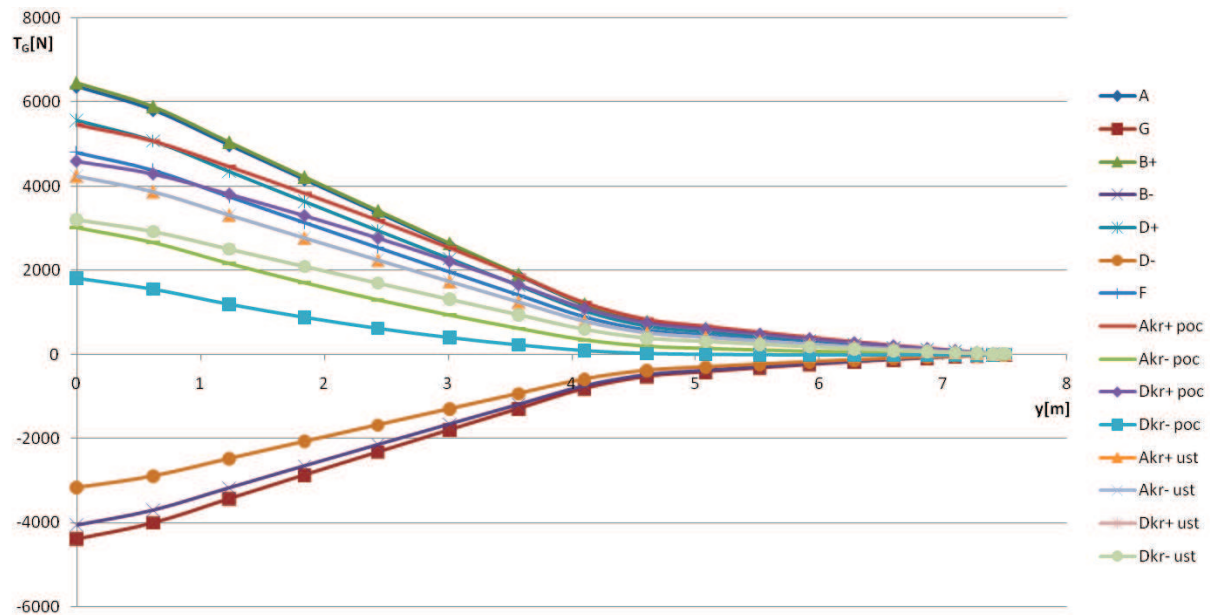
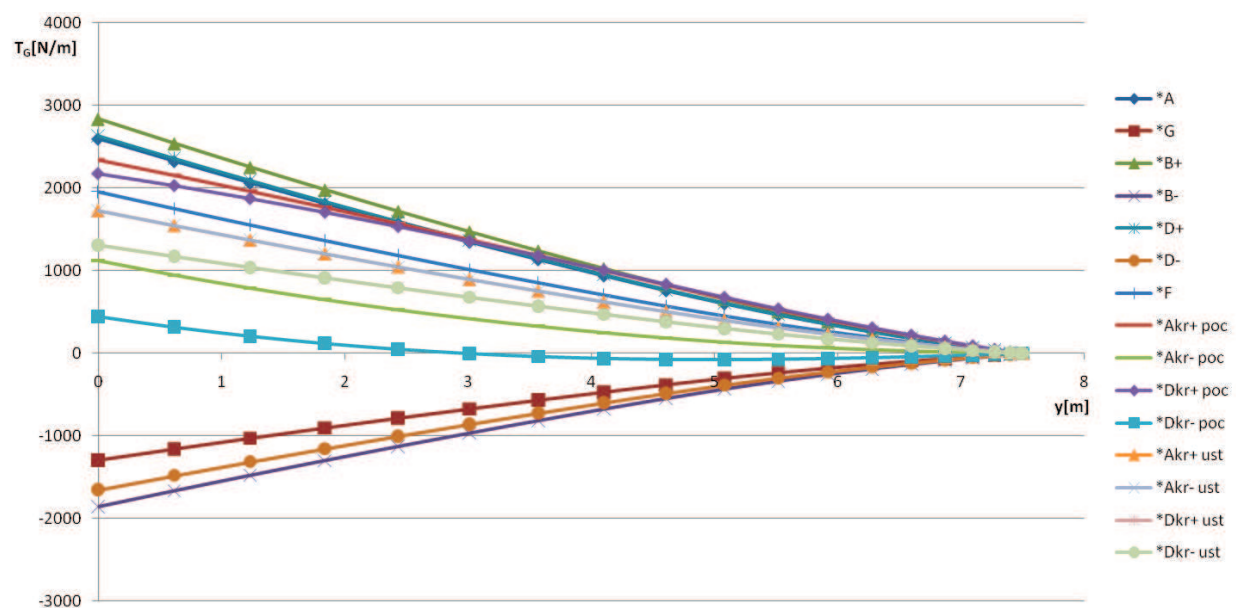
Obr. 10.13 Posouvající síla od aerodynamického zatížení pro  $m_{\text{row}}$



Obr. 10.14 Posouvající síla od aerodynamického zatížení pro  $m_{\text{zfw}}$

## 10.6.2 Posouvající síla od hmotového zatížení

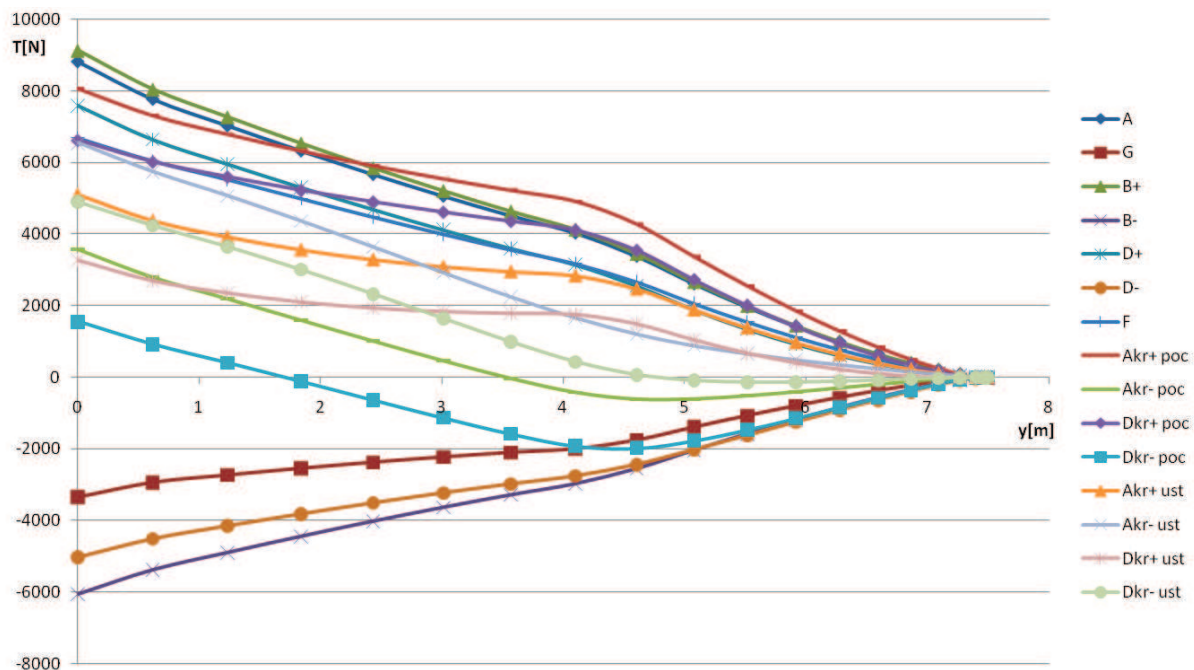
$$T_G = \int_l^y q_G dy$$

Obr. 10.15 Posouvající síla od hmotového zatížení pro  $m_{TOW}$ Obr. 10.16 Posouvající síla od hmotového zatížení pro  $m_{ZFW}$

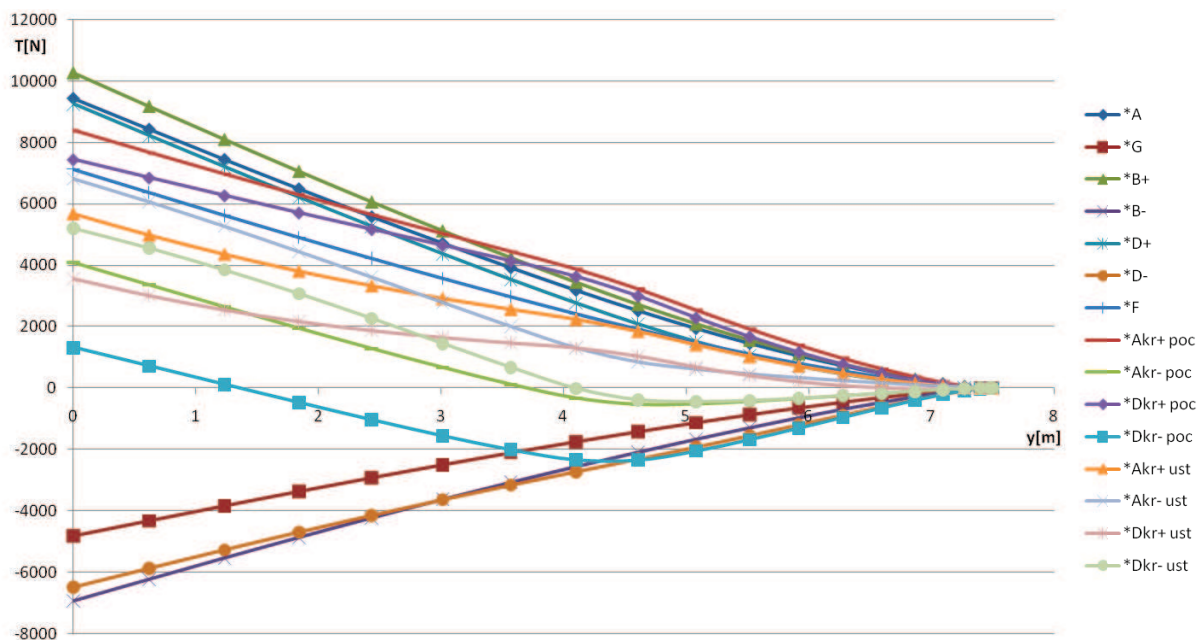
### 10.6.3 Výsledná posouvající síla

Hmotové zatížení má opačný smysl než aerodynamické.

$$T = T_A - T_G$$



Obr. 10.17 Výsledná posouvající síla pro  $m_{TOW}$



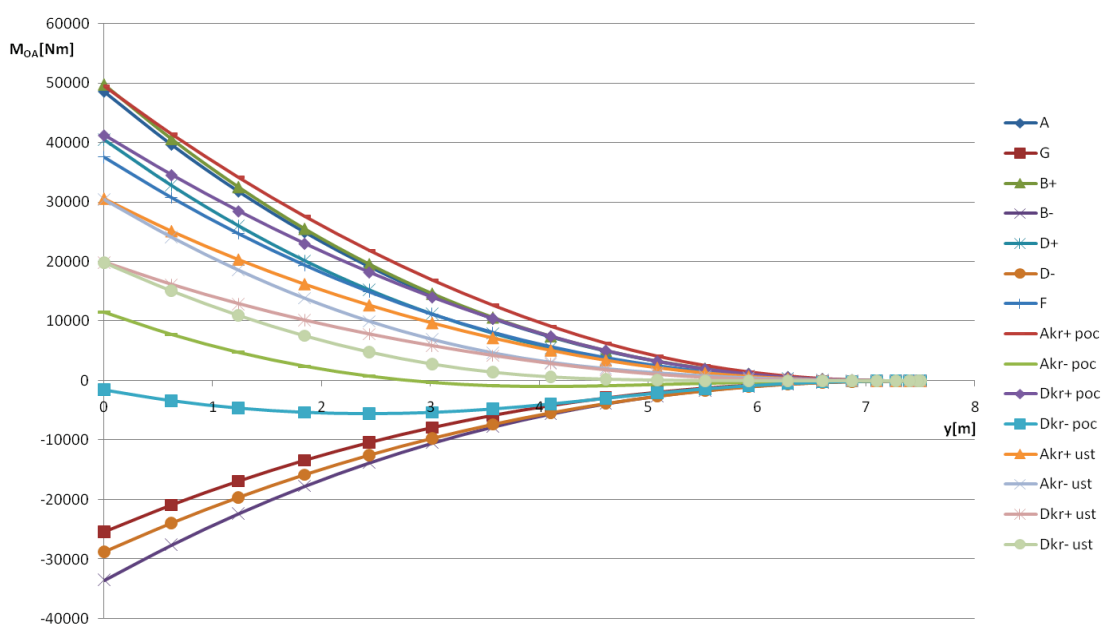
Obr. 10.18 Výsledná posouvající síla pro  $m_{ZFW}$

## 10.7 Ohybový moment

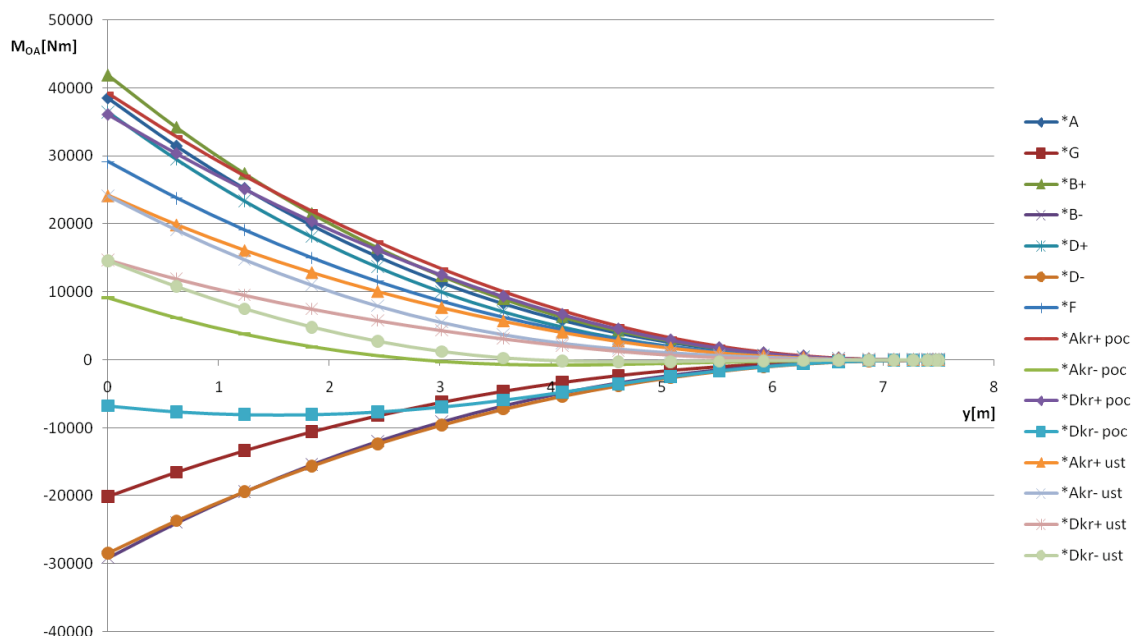
### 10.7.1 Ohybový moment od aerodynamického zatížení

Určí se integrací posouvající síly od volného konce křídla:

$$M_{OA} = \int_l^y T_A dy$$



Obr. 10.19 Ohybový moment od aerodynamického zatížení pro  $m_{TOW}$

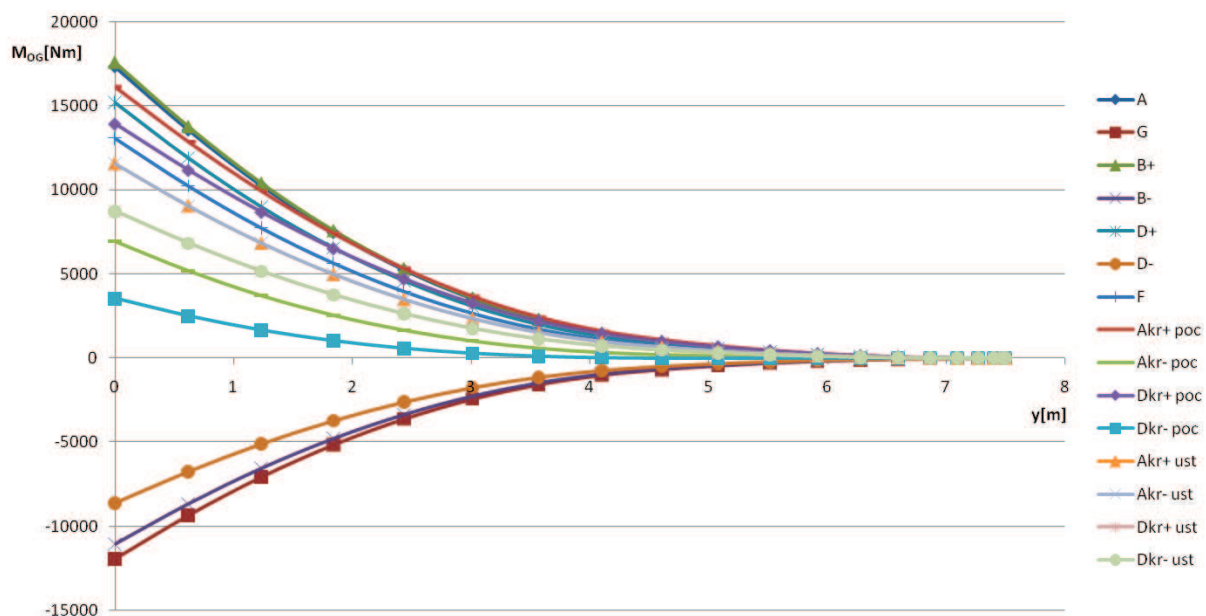
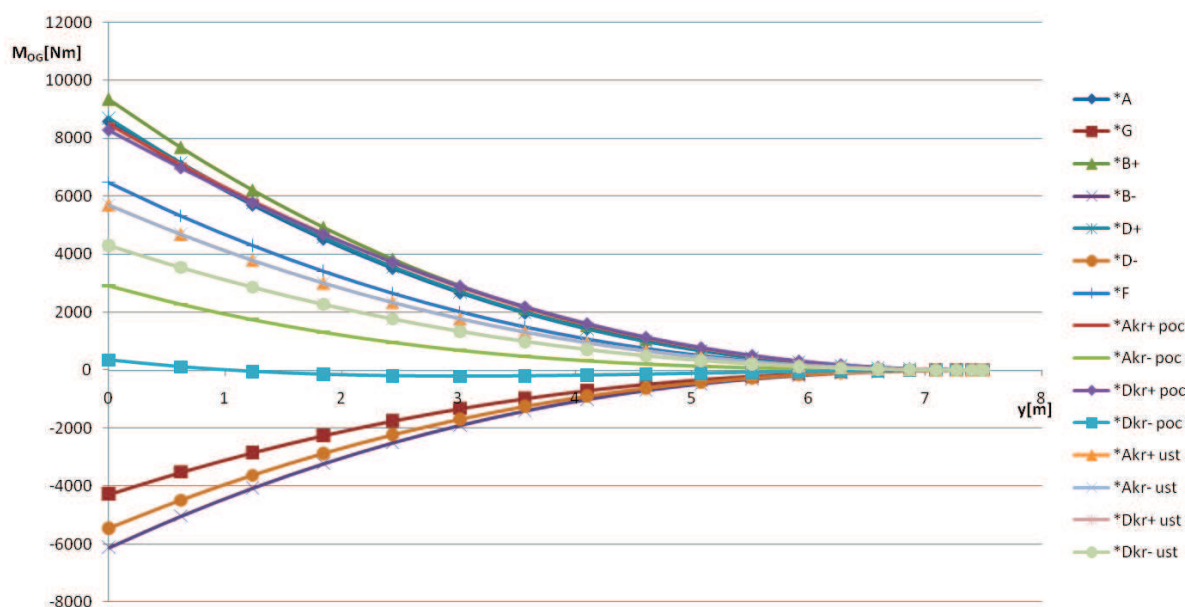


Obr. 10.20 Ohybový moment od aerodynamického zatížení pro  $m_{ZFW}$



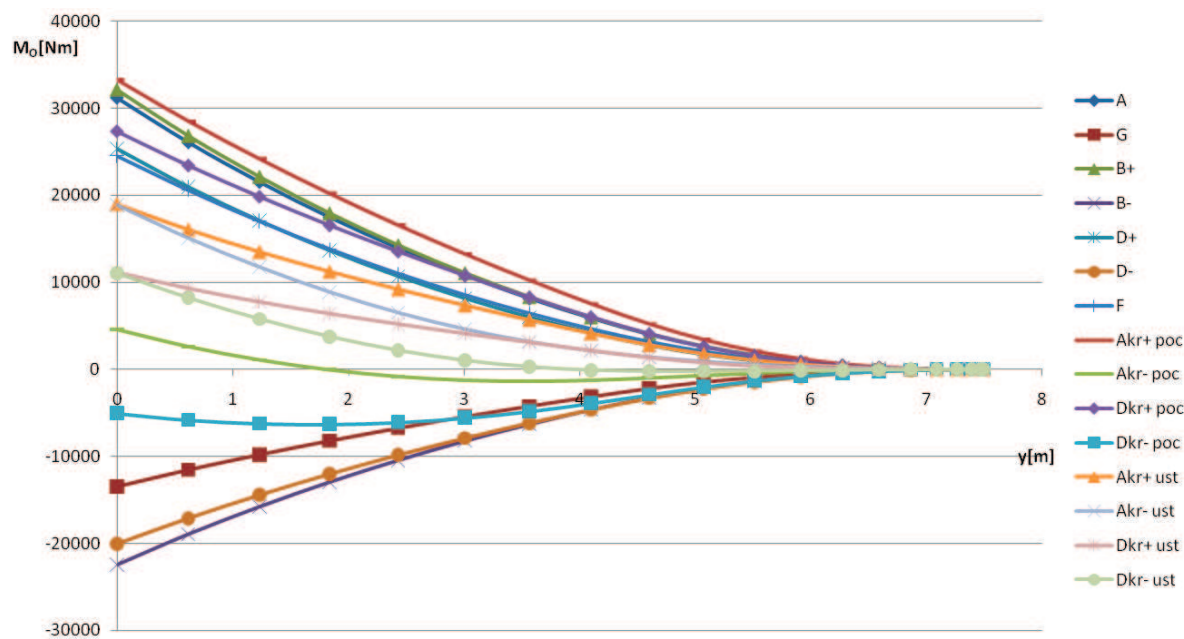
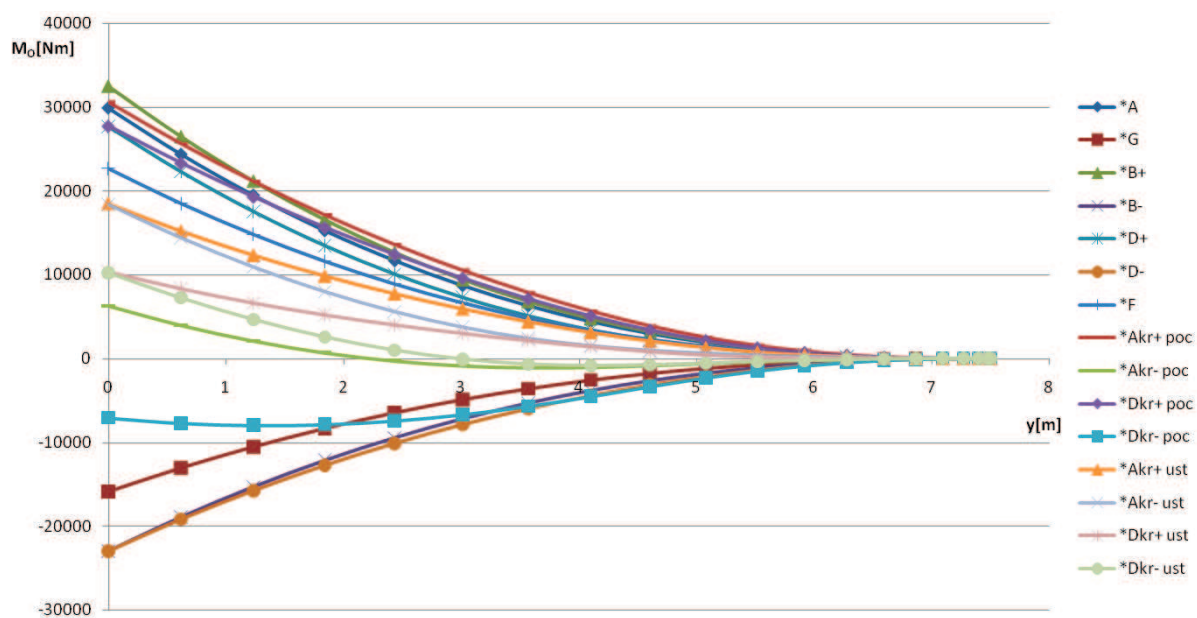
## 10.7.2 Ohybový moment od hmotového zatížení

$$M_{OG} = \int_l^y T_G dy$$

Obr. 10.21 Ohybový moment od hmotového zatížení pro  $m_{TOW}$ Obr. 10.22 Ohybový moment od hmotového zatížení pro  $m_{ZFW}$

## 10.7.3 Výsledný ohybový moment

$$M_O = M_{OA} - M_{OG}$$

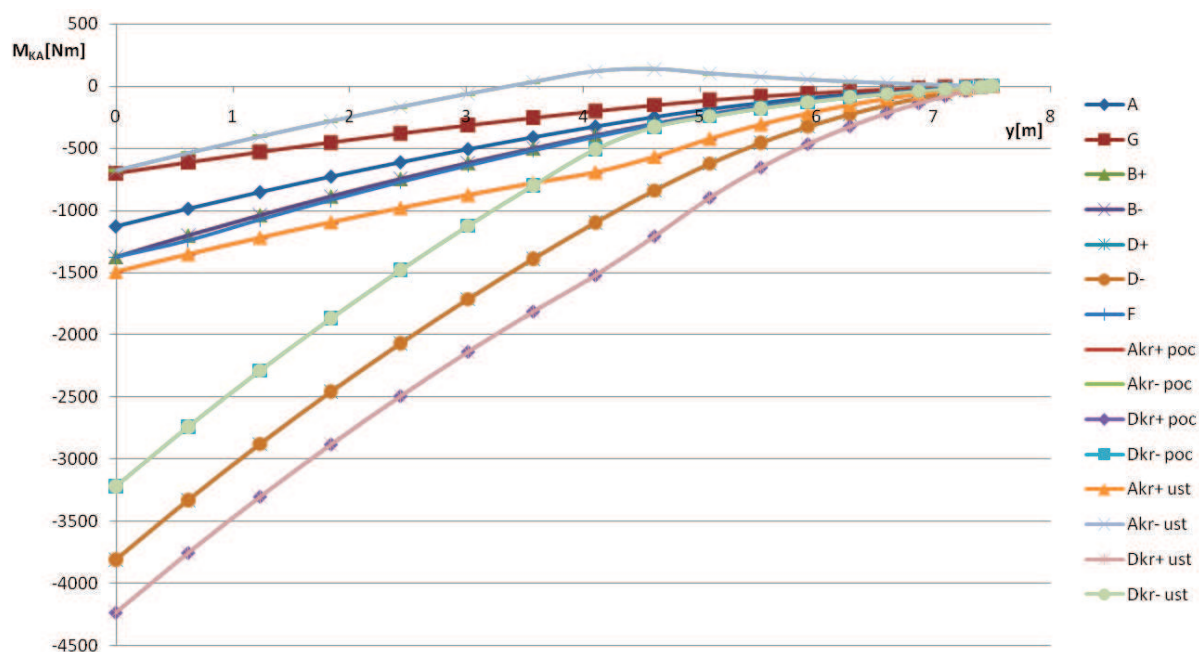
Obr. 10.23 Výsledný ohybový moment pro  $m_{TOW}$ Obr. 10.24 Výsledný ohybový moment pro  $m_{ZFW}$

Spojité zatížení kroutícím momentem se spočítá jako:

$$q_{mA} = c_{m0} \cdot c^2 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2}$$

Kroutící moment získáme integrací spojitého zatížení od volného konce:

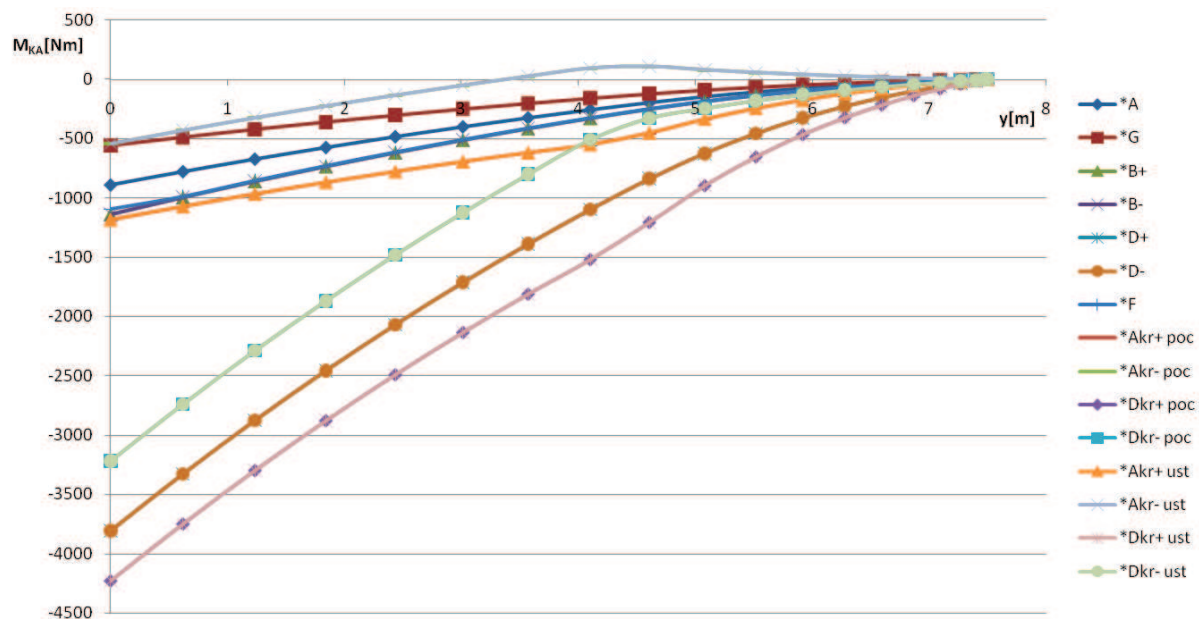
$$M_{KA} = \int_l^y q_{mA} dy$$



**Obr. 10.25** Kroutící moment od aerodynamického zatížení pro  $m_{TOW}$



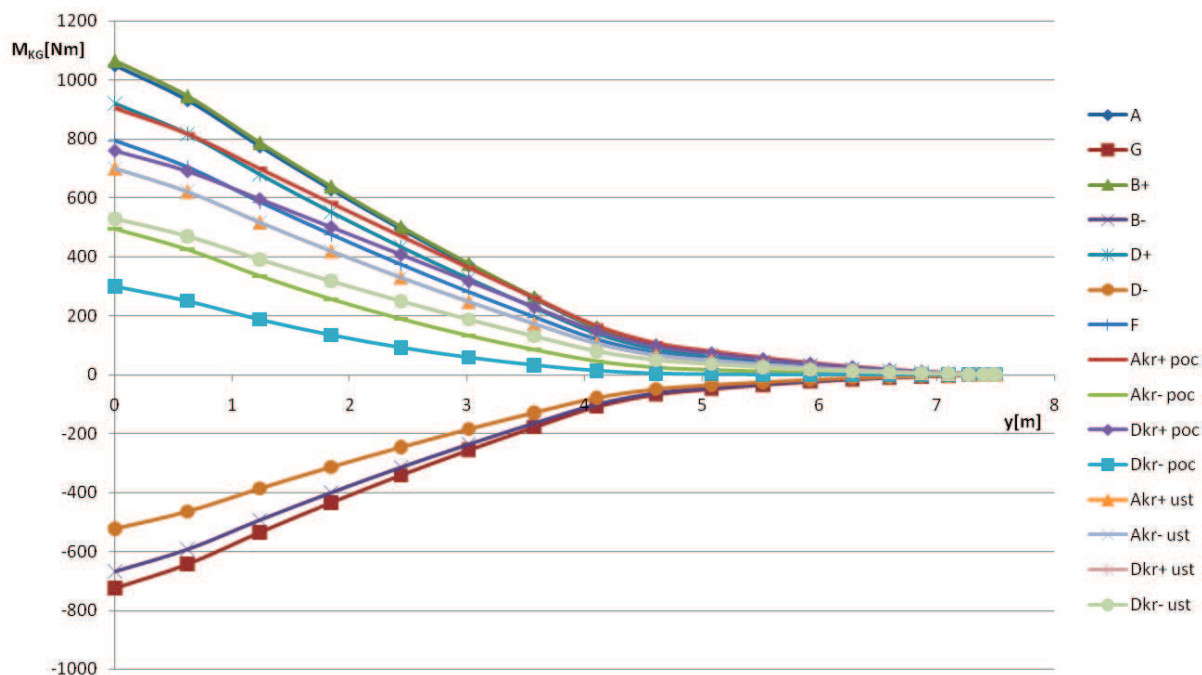
## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

Obr. 10.26 Kroutící moment od aerodynamického zatížení pro  $m_{zFW}$ 

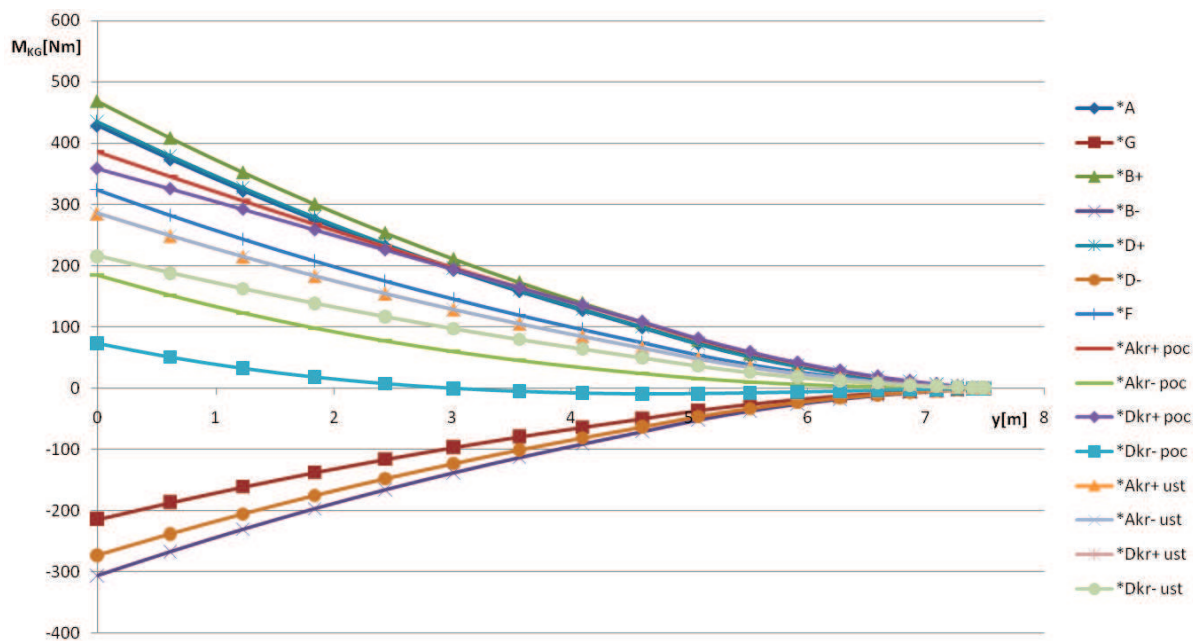
## 10.8.2 Kroutící moment od hmotového zatížení

Za předpokladu, že těžiště laží v 40% hloubky křídla:

$$M_{KG} = T_G \cdot (0,4 - 0,25) \cdot c$$

Obr. 10.27 Kroutící moment hmotového zatížení pro  $m_{TOW}$

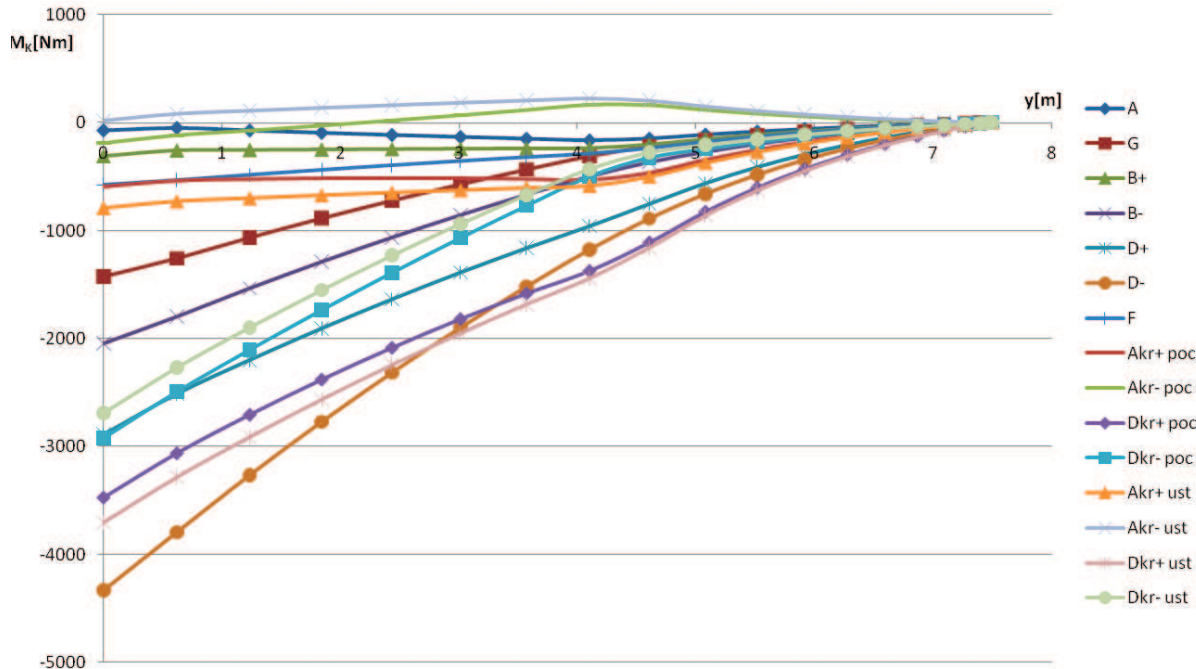
## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

10.28 Kroutící moment od hmotového zatížení pro  $m_{zFW}$ 

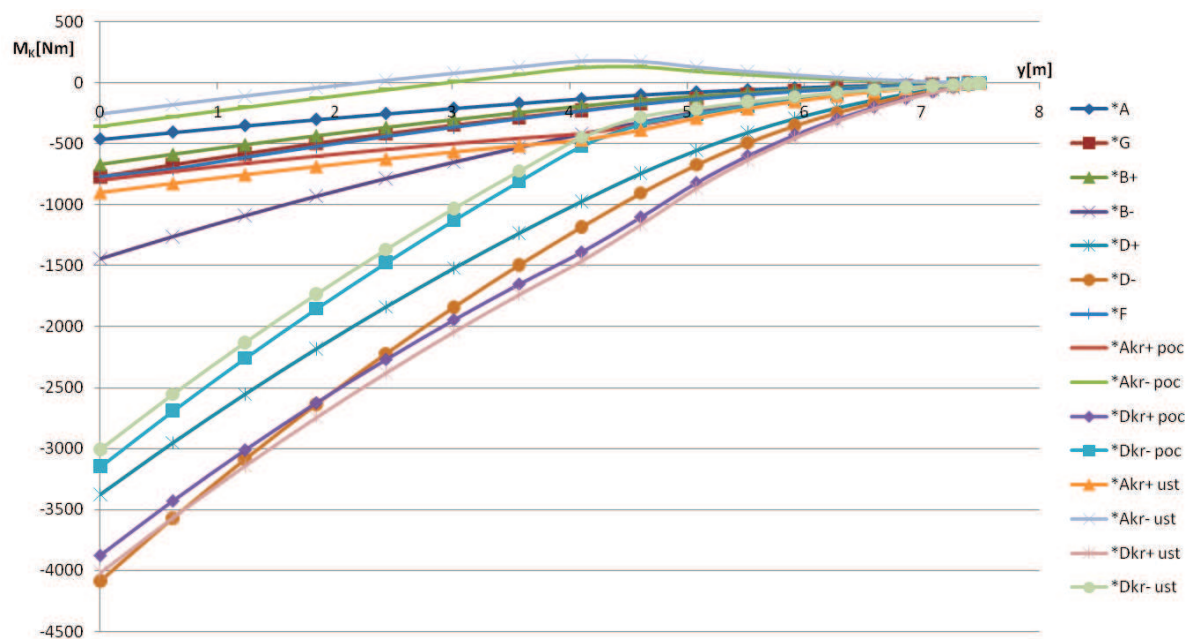
## 10.8.3 Výsledný kroutící moment

Výsledný kroutící moment k aerodynamickému středu:

$$M_K = M_{KA} + M_{KG}$$

Obr. 10.29 Výsledný kroutící moment pro  $m_{TOW}$

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

Obr. 10.30 Výsledný kroučící moment pro  $m_{ZFW}$

## 11 Konstrukční návrh křídla

Křídlo je navrhováno jako kompozitová jednonosníková dvoudutinová konstrukce s žebrem kořenovým, koncovým a v místě zalomení křídla. Hlavní nosník je tvaru I s uhlíkovými pásnicemi. Je umístěn ve 40% hloubky křídla. Potah a stojina jsou sendvičové konstrukce.

### 11.1 Pásnice nosníku

Pásnice nosníku přenáší ohybový moment působící na křídlo. Z rozboru případů zatížení lze určit maximální provozní ohybový moment v každém řezu křídla. Výška nosníku v jednotlivých řezech byla odečtena z geometrického modelu křídla v programu Catia. Efektivní výška nosníku je vzdálenost těžišť dolní a horní pásnice, jak je patrné z obr. 11.1.

$$h_e = h - h_p$$

Síla do pásnice:

$$F_p = \frac{M_{Omax}}{h_e}$$

Maximální dovolené *provozní napětí* pro uhlíkovou pásnici s objemovým podílem vláken 54% je podle [12]:

$$\sigma_{dov} = 350 \text{ MPa}$$

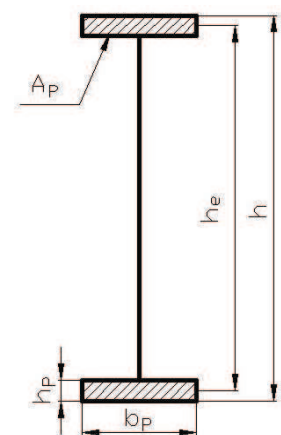
Minimální plocha pásnice:

$$A_p = \frac{F_p}{\sigma_{dov}}$$

Teoretická šířka pásnice:

$$b_{p\_teor} = \frac{A_p}{h_p}$$

Dolní i horní pásnice budou mít shodný obdélníkový průřez, budou vyrobeny z uhlíkových rovingů. Skutečná šířka je volena tak, aby se pásnice po rozpětí zužovala lineárně a zároveň byly zachovány minimální potřebné plochy pásnice. Výpočet a celkové rozměry jsou uvedeny v tab.11.1.



Obr. 11.1 Pásnice nosníku

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

y[m]	M <sub>Omax</sub> [Nm]	h[m]	h <sub>e</sub> [m]	F <sub>p</sub> [N]	A <sub>p</sub> [mm <sup>2</sup> ]	h <sub>p</sub> [mm]	b <sub>p_teor</sub> [mm]	b <sub>p</sub> [mm]
7,5	0,000	0,06228	0,05928	0,0	0	3,00	0,00	5,00
7,474	0,009	0,06324	0,060216	0,2	0,000429	3,02	0,00	5,21
7,398	0,775	0,06601	0,062915	12,3	0,035184	3,10	0,01	5,82
7,271	8,279	0,07051	0,067296	123,0	0,351498	3,21	0,11	6,83
7,094	39,761	0,07657	0,073191	543,3	1,552158	3,38	0,46	8,25
6,868	125,746	0,08398	0,08039	1564,2	4,469151	3,59	1,24	10,06
6,596	309,538	0,0925	0,088656	3491,4	9,975543	3,84	2,60	12,23
6,279	649,691	0,10191	0,09777	6645,1	18,98591	4,14	4,59	14,77
5,919	1219,565	0,11204	0,107564	11338,0	32,39427	4,48	7,24	17,65
5,518	2107,711	0,12291	0,11806	17852,9	51,00816	4,85	10,52	20,86
5,08	3408,932	0,13457	0,129311	26362,2	75,32059	5,26	14,32	24,36
4,607	5222,408	0,14692	0,14122	36980,7	105,6591	5,70	18,54	28,14
4,102	7548,711	0,15305	0,146879	51394,2	146,8407	6,17	23,79	32,18
3,57	10250,321	0,15754	0,150872	67940,5	194,1157	6,67	29,11	36,44
3,013	13254,161	0,16221	0,155022	85498,5	244,2815	7,19	33,99	40,90
2,435	16569,388	0,16701	0,159283	104025,1	297,2144	7,73	38,46	45,52
1,841	20207,285	0,17191	0,163628	123495,1	352,8431	8,28	42,60	50,27
1,234	24192,384	0,17688	0,168032	143975,1	411,3574	8,85	46,49	55,13
0,619	28533,683	0,1819	0,172478	165434,0	472,6686	9,42	50,17	60,05
0	33297,652	0,18692	0,17692	188207,4	537,7354	10,00	53,77	65,00

Tab. 11.1 Rozměry pásnice

## 11.2 Stojina nosníku

Stojina nosníku je sendvičová konstrukce. Potah tvoří několik vrstev skleněné tkaniny 92110 (kladené pod úhlem 45°) a pěnové jádro (Herex C70.55) o tloušťce 5 mm zajišťující stabilitu stojiny. Z rozboru případů zatížení lze určit maximální provozní posouvající sílu v každém řezu křídla.

Maximální dovolené *provozní smykové napětí* pro vrstvu ze skleněné tkaniny Interglas 92110 s objemovým podílem vláken 58% je podle [14]:

$$\tau_{dov} = 45 \text{ MPa}$$

Potřebná tloušťka stojiny:

$$s_{st} = \frac{T_{max}}{\tau_{dov} \cdot h_e}$$

Tloušťka jedné použité vrstvy je 0,17 mm. Z potřebné tloušťky stojiny a tloušťky jedné použité vrstvy vypočteme minimální teoretický potřebný počet vrstev na jedné straně stojiny:

$$n = \frac{s_{st}}{2 \cdot 0,17}$$

Skutečný počet vrstev na jedné straně stojiny pak bude nejbližší vyšší celé číslo.

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

$y[m]$	$T_{max}[N]$	$h_e[m]$	$s_{st}[mm]$	$n_{teor}[-]$	$n[-]$
7,5	0,000	0,05928	0	0	0
7,474	0,696	0,060216	0,000257	0,000756	1
7,398	20,857	0,062915	0,007367	0,021668	1
7,271	98,726	0,067296	0,032601	0,095884	1
7,094	257,007	0,073191	0,078032	0,229507	1
6,868	503,922	0,08039	0,139299	0,409703	1
6,596	847,486	0,088656	0,212427	0,624787	1
6,279	1298,589	0,09777	0,295156	0,868106	1
5,919	1867,377	0,107564	0,38579	1,134677	2
5,518	2562,278	0,11806	0,482292	1,418507	2
5,08	3379,372	0,129311	0,580747	1,708079	2
4,607	4288,601	0,14122	0,67485	1,984853	2
4,102	4924,483	0,146879	0,745058	2,191346	3
3,57	5231,944	0,150872	0,770623	2,266538	3
3,013	5553,837	0,155022	0,796135	2,341575	3
2,435	6068,702	0,159283	0,846671	2,49021	3
1,841	7063,146	0,163628	0,95924	2,821295	3
1,234	8104,922	0,168032	1,071877	3,15258	4
0,619	9181,556	0,172478	1,182962	3,479299	4
0	10277,488	0,17692	1,290915	3,796808	4

Tab. 11.2 Tloušťka stojiny

### 11.3 Potah

V nosníkovém křídle se dvěma stojinami a dvěma dutinami můžeme podle [3] předpokládat, že jsou smykové toky v pření a zadní dutině co do velikosti přibližně stejné.

$$q_K = \frac{M_{Ke.o.}}{2(U_1 + U_2)}$$

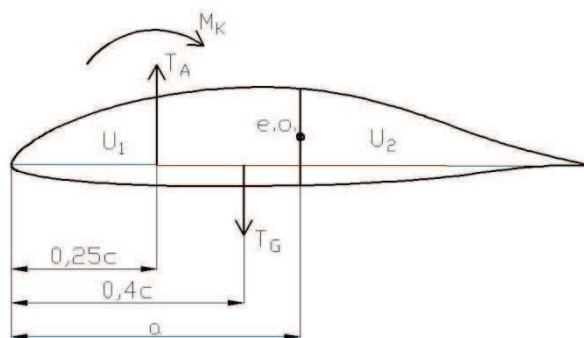
kde  $M_{Ke.o.}$  je maximální kroutící moment k elastické ose křídla zjištěný z analýzy případů zatížení podle vztahu:

$$M_{Ke.o.} = M_K + T_A \cdot (a - 0,25 \cdot c) - T_G \cdot (a - 0,4 \cdot c)$$

kde  $a$  je vzdálenost elastické osy křídla od náběžné hrany. Ploloha elastické osy je shodná s hlavním nosníkem.

$U_1, U_2$  jsou plochy pření a zadní dutiny odečteny z geometrického modelu křídla.

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22



Obr. 11.2 Krutící moment k e.o.

Minimální potřebná tloušťka potahu bude:

$$s_p = \frac{q_K}{\tau_{dov}}$$

Tloušťka jedné použité vrstvy je 0,17 mm. Z toho lze vypočítat minimální potřebný počet vrstev v potahu křídla po rozpětí.

y[m]	a[m]	U <sub>1</sub> +U <sub>2</sub> [mm <sup>2</sup> ]	M <sub>ke.o.</sub> [Nm]	q <sub>K</sub> [N/mm]	s <sub>p</sub> [mm]	n <sub>teor</sub> [-]	n[-]
7,5	0,269	21516	0	0	0	0	0
7,474	0,27	21888	-3,943776	-0,09009	0,002002	0,011776	1
7,398	0,273	22998	-19,23617	-0,418214	0,0092936	0,054668	1
7,271	0,277	24913	-50,1814	-1,007133	0,0223807	0,131651	1
7,094	0,283	27413	-100,0731	-1,825286	0,0405619	0,238599	1
6,868	0,291	31506	-172,2343	-2,733358	0,0607413	0,357302	1
6,596	0,3	36399	-269,3083	-3,699391	0,0822087	0,483581	1
6,279	0,31	42555	-395,4857	-4,64676	0,1032613	0,60742	1
5,919	0,322	50133	-556,8111	-5,553339	0,1234075	0,725927	1
5,518	0,336	59310	-759,9676	-6,406741	0,142372	0,837483	1
5,08	0,35	70213	-1008,249	-7,179931	0,159554	0,938553	1
4,607	0,366	83014	-1313,289	-7,910046	0,1757788	1,033993	2
4,102	0,373	89904	-1666,212	-9,266618	0,2059249	1,211323	2
3,57	0,378	95184	-2086,536	-10,96054	0,2435675	1,43275	2
3,013	0,383	100866	-2552,231	-12,65159	0,2811465	1,653803	2
2,435	0,388	106937	-3064,723	-14,32957	0,3184349	1,873147	2
1,841	0,393	113363	-3622,161	-15,97594	0,3550209	2,088358	3
1,234	0,399	120124	-4228,91	-17,60227	0,3911615	2,30095	3
0,619	0,404	127170	-4874,417	-19,16496	0,4258881	2,505224	3
0	0,409	134468	-5530,76	-20,56534	0,4570075	2,68828	3

Tab. 11.3 Tloušťka potahu

Skutečná skladba potahu bude:

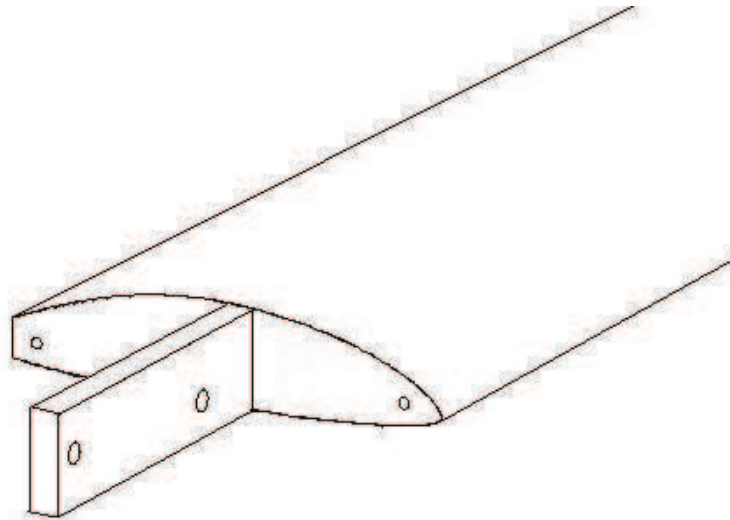


Část polorozpětí křídla				Skladba potahu
400	až	2435	mm	2x92110(45°)/Herex C70.55(5mm)/92110(45°)
2435	až	7500	mm	92110(45°)/Herex C70.55(5mm)/92110(45°)

Tab. 11.4 Skladba potahu

## 11.4 Uchycení křídla

Levá a pravá polovina křídla jsou navzájem propojeny krakorcem. Propojení krakorců je zajištěno dvěma čepy, které přenášejí ohybový moment. Pro zachycení kroutícího momentu a posouvající síly slouží otvory v kořenovém žebře, do nichž se zasunou čepy centroplánu.



Obr. 11.3 Schéma kořenové části křídla

Maximální posouvající síla v krakorci:

$$T_{max} = \frac{M_{Omax}}{y} = \frac{33297,65}{0,45} = 73994 \text{ N}$$

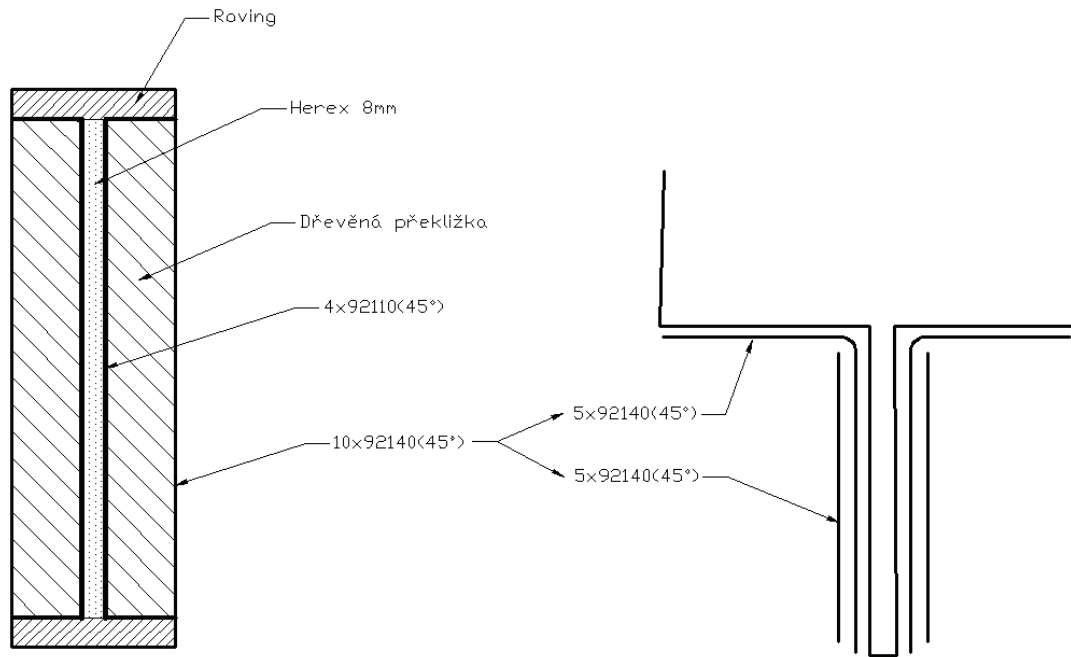
kde  $y$  je vzdálenost os čepů

$M_{Omax}$  je maximální ohybový moment v ose ze všech případů zatížení

Stojina nosníku bude v oblasti krakorce rozšířena pomocí dřevěné překližky až na rozměr pásnic. Dále bude pěti vrstvami tkaniny 92140 zajištěno spojení s kořenovým žebrem. Celek bude omotán pěti vrstvami tkaniny 92140. Skladba krakorce je patrná z obr. 11.4.



## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22



Obr. 11.4 Materiálová skladba krakorce

Pevnost překližky proti otlacení je:

$$\sigma_{otl} = 30 \text{ MPa}$$

Otvor tedy musí splňovat minimální průměr:

$$d = \frac{T_{max}}{\sigma_{otl} \cdot t} = \frac{73994}{30 \cdot 55} = 44,84 \text{ mm}$$

Otvory pro čepy budou tedy mít průměr:

$$d = 45 \text{ mm}$$

## 11.5 Žebra

Žebra jsou rozdělena nosníkem na přední a zadní část. Jsou v nich otvory pro zabudování táhel řízení a palivovou soustavu. V kořenovém žebře jsou zalaminovány otvory pro zasunutí kolíku centroplánu. Materiálová skladba je uvedena v tab. 11.5.

Žebro	Skladba
kořenové	5x92140(45°)/Herex C70.55(5mm)/5x92140(45°)
středové	2x92140(45°)/Herex C70.55(5mm)/2x92140(45°)
koncové	1x92140(45°)/Herex C70.55(5mm)/1x92140(45°)

Tab. 11.5 Materiálová skladba žeber

## 12 Pevnostní kontrola křídla

### 12.1 Kontrola nosníku

Kontrola nosníku je provedena pro kladný poryvový případ zatížení při  $V_B$  (B+) při hmotnosti  $m_{ZFW}$ . Přepočet provozních hodnot posouvající síly a ohybového momentu na početní je uveden v tab. 12.1. Protože není uvažován vliv teploty, je použit zvyšující součinitel bezpečnosti 1,5 a výsledný součinitel bezpečnosti je tedy 2,25.

y[m]	provozní		početní	
	T[N]	Mo[Nm]	T[N]	Mo[Nm]
7,5	0	0	0	0
7,474	-1,43159	-0,01861	-3,22108	-0,04187
7,398	13,18369	0,427969	29,66331	0,96293
7,271	61,66908	5,18112	138,7554	11,65752
7,094	154,9324	24,35035	348,5978	54,78828
6,868	301,0154	75,87245	677,2847	170,713
6,596	506,3524	185,6745	1139,293	417,7675
6,279	779,408	389,4675	1753,668	876,3018
5,919	1129,157	733,0093	2540,604	1649,271
5,518	1565,533	1273,295	3522,449	2864,913
5,08	2095,476	2075,055	4714,82	4668,875
4,607	2724,817	3215,055	6130,837	7233,873
4,102	3448,774	4773,886	7759,742	10741,24
3,57	4252,511	6822,428	9568,149	15350,46
3,013	5128,519	9435,045	11539,17	21228,85
2,435	6068,702	12671,04	13654,58	28509,84
1,841	7063,146	16571,2	15892,08	37285,2
1,234	8104,922	21174,71	18236,07	47643,1
0,619	9181,556	26490,3	20658,5	59603,18
0	10277,49	32512,88	23124,35	73153,97

Tab. 12.1 Početní zatížení pro B+ při  $m_{ZFW}$

#### a) Pásnice

Dovolené napětí v pásnici je:

$$\sigma_{dov} = 800 \text{ MPa}$$

Napětí v pásnici se spočítá podle vzorce:

$$\sigma = \frac{M_O}{h_e \cdot A_p}$$

Součinitel rezervy je potom:

$$\eta = \frac{\sigma_{dov}}{\sigma}$$

Výpočet součinitelů rezerv pro pásnici je uveden v tabulce 12.2.

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

$y[m]$	$h_e[m]$	$A_p[mm^2]$	$M_o[Nm]$	$\sigma[MPa]$	$\eta$
7,5	0,05928	15	0	0	-
7,474	0,060216	15,75038	-0,041874	0,044151	18119,49
7,398	0,062915	18,00168	0,96293	0,850215	940,9379
7,271	0,067296	21,95623	11,65752	7,889646	101,3987
7,094	0,073191	27,86944	54,78828	26,85971	29,78439
6,868	0,08039	36,0997	170,713	58,82478	13,59971
6,596	0,088656	47,01655	417,7675	100,2246	7,982068
6,279	0,09777	61,13361	876,3018	146,6109	5,45662
5,919	0,107564	78,98539	1649,271	194,1228	4,121102
5,518	0,11806	101,1488	2864,913	239,9094	3,334592
5,08	0,129311	128,1011	4668,875	281,853	2,838359
4,607	0,14122	160,4246	7233,873	319,3039	2,50545
4,102	0,146879	198,6225	10741,24	368,1865	2,172812
3,57	0,150872	242,9819	15350,46	418,7346	1,910518
3,013	0,155022	293,955	21228,85	465,8563	1,717268
2,435	0,159283	351,7482	28509,84	508,8554	1,572156
1,841	0,163628	416,3393	37285,2	547,3067	1,461703
1,234	0,168032	487,7872	47643,1	581,2704	1,376296
0,619	0,172478	565,7883	59603,18	610,7767	1,309808
0	0,17692	650	73153,97	636,1325	1,2576

Tab. 12.2 Součinitele rezervy pro pásnici

b) Stojina

Dovolené smykové napětí ve stojině je:

$$\tau_{dov} = 100 \text{ MPa}$$

Smykové napětí ve stojině se spočítá podle vztahu:

$$\tau = \frac{T}{h_e \cdot s_{st}}$$

Součinitel rezervy je potom:

$$\eta = \frac{\tau_{dov}}{\tau}$$

Výpočet součinitelů rezerv pro stojinu je uveden v tabulce 12.3.

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

y[m]	T[N]	$h_e$ [mm]	$q_s$ [N/mm]	$s_{st}$ [mm]	$\tau$ [MPa]	$\eta$
7,5	0	59,28	0	0,34	0	-
7,474	-3,22108	60,21573	-0,053492	0,34	-0,15733	635,605
7,398	29,66331	62,9148	0,471484	0,34	1,386717	72,11277
7,271	138,7554	67,29627	2,061859	0,34	6,064292	16,48997
7,094	348,5978	73,19107	4,762846	0,34	14,00837	7,138589
6,868	677,2847	80,39013	8,424973	0,34	24,77933	4,035621
6,596	1139,293	88,65627	12,85067	0,34	37,7961	2,645776
6,279	1753,668	97,7704	17,93659	0,68	26,37734	3,791132
5,919	2540,604	107,5644	23,61938	0,68	34,73438	2,878992
5,518	3522,449	118,0601	29,83606	0,68	43,87655	2,279122
5,08	4714,82	129,3113	36,461	0,68	53,61911	1,865007
4,607	6130,837	141,2199	43,41342	0,68	63,84327	1,566336
4,102	7759,742	146,8785	52,83101	1,02	51,79511	1,930684
3,57	9568,149	150,872	63,41899	1,02	62,17548	1,608351
3,013	11539,17	155,0221	74,43561	1,02	72,97609	1,370312
2,435	13654,58	159,2827	85,72546	1,02	84,04457	1,189845
1,841	15892,08	163,6283	97,12307	1,02	95,21869	1,050214
1,234	18236,07	168,0317	108,5276	1,36	79,79968	1,253138
0,619	20658,5	172,4777	119,7749	1,36	88,06977	1,135463
0	23124,35	176,92	130,7051	1,36	96,1067	1,04051

Tab. 12.3 Součinitele rezervy pro stojinu

## 12.2 Kontrola potahu

Kontrola potahu je provedena pro záporný poryvový případ zatížení při  $V_D$  (D-) při hmotnosti  $m_{TOW}$ . Přepočet provozních hodnot kroutícího momentu k elastické ose na početní je uveden v tabulce 12.4. Opět zde platí zvýšený součinitel bezpečnosti 2,25.

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

	provozní	početní
y[m]	$M_{\text{ke.o.}}[\text{Nm}]$	$M_{\text{ke.o.}}[\text{Nm}]$
7,5	0	0
7,474	-3,94377552	-8,87349492
7,398	-19,2361655	-43,2813723
7,271	-50,1814009	-112,908152
7,094	-100,073139	-225,164562
6,868	-172,234328	-387,527238
6,596	-269,308272	-605,943612
6,279	-395,333292	-889,499907
5,919	-555,79034	-1250,52827
5,518	-757,448098	-1704,25822
5,08	-1003,22389	-2257,25374
4,607	-1304,61216	-2935,37737
4,102	-1666,21213	-3748,97728
3,57	-2086,53587	-4694,7057
3,013	-2552,23132	-5742,52048
2,435	-3064,72278	-6895,62625
1,841	-3622,16059	-8149,86133
1,234	-4228,90959	-9515,04657
0,619	-4874,41683	-10967,4379
0	-5530,76005	-12444,2101

Tab. 12.4 Početní zatížení pro D- při  $m_{\text{row}}$ 

Dovolené smykové napětí v potahu je:

$$\tau_{dov} = 100 \text{ MPa}$$

Smykové napětí v potahu se spočítá podle vztahu:

$$\tau = \frac{q_K}{s_p}$$

Součinitel rezervy je potom:

$$\eta = \frac{\tau_{dov}}{\tau}$$

Výpočet součinitelů rezerv pro potah je uveden v tabulce 12.5.

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

$y[m]$	$M_{ke.o.}[Nm]$	$U_1+U_2[mm^2]$	$q_k[N/mm]$	$s_p[mm]$	$\tau[MPa]$	$\eta$
7,5	0	21516	0	0,34	0	-
7,474	-8,87349492	21888	-0,2027023	0,34	0,596183	167,7337
7,398	-43,2813723	22998	-0,9409812	0,34	2,767592	36,1325
7,271	-112,908152	24913	-2,2660489	0,34	6,66485	15,00409
7,094	-225,164562	27413	-4,1068938	0,34	12,0791	8,278763
6,868	-387,527238	31506	-6,1500546	0,34	18,0884	5,528406
6,596	-605,943612	36399	-8,3236299	0,34	24,48126	4,084756
6,279	-889,499907	42555	-10,45118	0,34	30,73876	3,253221
5,919	-1250,52827	50133	-12,472107	0,34	36,68267	2,726083
5,518	-1704,25822	59310	-14,367377	0,34	42,25699	2,366472
5,08	-2257,25374	70213	-16,074329	0,34	47,27744	2,115174
4,607	-2935,37737	83014	-17,680014	0,34	52,00004	1,923075
4,102	-3748,97728	89904	-20,849891	0,34	61,32321	1,630704
3,57	-4694,7057	95184	-24,661212	0,34	72,53298	1,378683
3,013	-5742,52048	100866	-28,466086	0,34	83,72378	1,194404
2,435	-6895,62625	106937	-32,241536	0,34	94,82805	1,05454
1,841	-8149,86133	113363	-35,945861	0,51	70,48208	1,4188
1,234	-9515,04657	120124	-39,605102	0,51	77,65706	1,287713
0,619	-10967,4379	127170	-43,121168	0,51	84,55131	1,182714

Tab. 12.5 Součinitelé rezervy pro potah

### 12.3 Kontrola krakorce

Dovolené smykové napětí ve stojině krakorce je

$$\tau_{dov} = 100 \text{ MPa}$$

Maximální posouvající síla v krakorci byla stanovena v kapitole 11.4. Smykové napětí ve stojině se spočítá podle vztahu:

$$\tau = K_T \cdot \frac{T}{h_e \cdot s_{st}} = 1,8 \cdot \frac{73994}{175 \cdot (8 \cdot 0,17 + 20 \cdot 0,43)} = 76,41 \text{ MPa}$$

kde  $K_T$  je faktor koncentrace napětí vlivem otvorů pro čepy, stanovený dle [14] pro 100% vrstev s orientací 45°

Součinitel rezervy je potom:

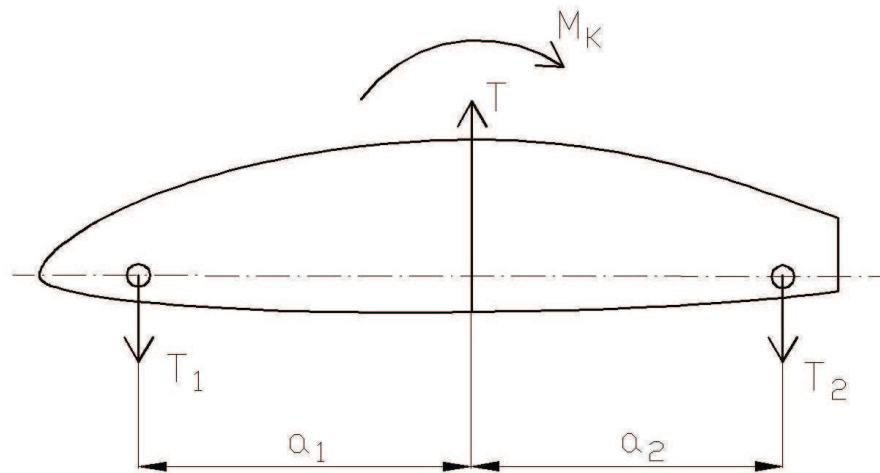
$$\eta = \frac{\tau_{dov}}{\tau} = \frac{100}{76,41} = 1,31$$

## 12.4 Kontrola kořenového žebra

Kořenové žebro přenáší zatížení posouvající silou a kroutícím momentem do závěsů centroplánu. Kontrola je provedena pro kladný poryvový případ zatížení při  $V_B$  (B+) při hmotnosti  $m_{ZFW}$ . Reakce v závěsech budou:

$$T_1 = \frac{T \cdot a_2}{a_1 + a_2} + \frac{M_K}{a_1 + a_2} = \frac{21533 \cdot 0,41}{0,33 + 0,41} + \frac{-1385}{0,33 + 0,41} = 10059 \text{ N}$$

$$T_2 = \frac{T \cdot a_1}{a_1 + a_2} - \frac{M_K}{a_1 + a_2} = \frac{21533 \cdot 0,33}{0,33 + 0,41} - \frac{-1385}{0,33 + 0,41} = 11474 \text{ N}$$



Obr. 12.1 Reakce v závěsech

Smykový tok v kořenovém žebře

$$q_K = \frac{M_K}{2(U_1 + U_2)} = \frac{1385000}{2 \cdot 123131} = 5,62 \text{ N/mm}$$

Průběh posouvající síly po délce žebra:

$$T(x) = q_K \cdot h - T_1 + T$$

Smykové napětí v kořenovém žebře:

$$\tau = \frac{T}{h_e \cdot s_z}$$

kde  $s_z$  je tloušťka žebra  $s_z = 10 \cdot 0,43 = 4,3 \text{ mm}$

Dovolené napětí je:

$$\tau_{dov} = 100 \text{ MPa}$$

Výpočet napětí a součinitelů rezervy pro kořenové žebro je uveden v tab. 12.6.

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

x[mm]	h[mm]	T(x) [N]	$\tau$ [MPa]	$\eta$ [-]
0	0	0	0	-
80	89	-9053,3	23,65639	4,227188
160	130	-8590	15,36673	6,507567
240	154	-8318,8	12,56237	7,960283
330	172	-8115,4	10,97269	9,113537
410	181	13519,3	17,37029	5,756955
490	183	13541,9	17,20918	5,810854
570	178	13485,4	17,61876	5,675768
650	163	13315,9	18,99829	5,263632
730	138	13033,4	21,96394	4,552918
820	101	12615,3	29,04743	3,442645
880	73	12298,9	39,18095	2,552261

Tab. 12.6 Součinitelé rezervy pro kořenové žebro



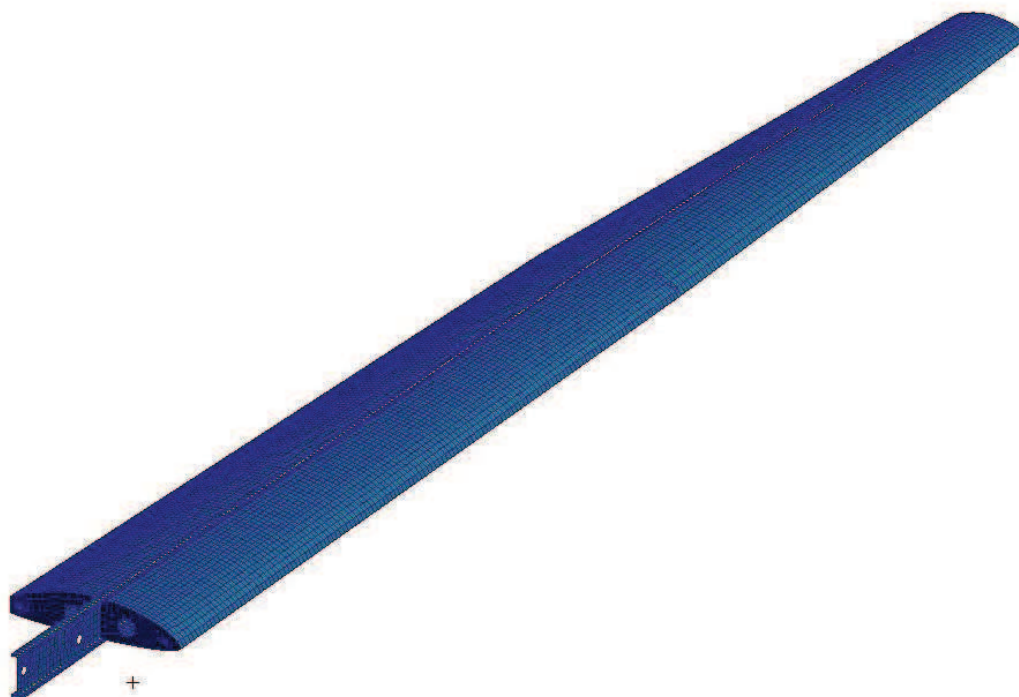
## 13 Analýza metodou konečných prvků

### 13.1 Tvorba modelu

Model křídla byl vytvořen pomocí programu Catia a přes formát IGES byl naimportován do preprocesoru Patran. Model byl dále rozdělen do několika skupin, na které byla aplikována síť konečných prvků. Síť je tvořena plošnými prvky (QUAD4, TRIA3) s výjimkou pásnic, na které byly aplikovány nosníkové prvky (BAR2). Počet prvků v jednotlivých skupinách je uveden v tabulce 13.1.

Skupina	Počet prvků
potah dolní	5803
potah horní	5816
stojina	1253
stojina zadní	416
zebro koncove	32
zebro stredove	94
zebro korenove	192
pasnice	519
symetry	1772
diry	84
<b>Celkem</b>	<b>15981</b>

Tab. 13.1 Počet prvků



Obr. 13.1 Síť prvků

### 13.2 Definování materiálů a vlastností

Použité materiály byly definovány jako lineárně elastické izotropní (Herex) nebo 2D ortotropní (překližka a vláknové kompozity). Plošným elementům byly vlastnosti přiřazeny pomocí funkce preprocesoru "laminát modelář", která umožňuje aplikovat vrstvy laminátu na příslušné plochy pod daným referenčním úhlem. Nosníkovým prvkům (tzn. pásnicím) byly vlastnosti přiřazeny jako proměnné po délce, čímž bylo dosaženo zmenšující se plochy průřezu směrem ke konci křídla.

Přehled vlastností použitých materiálů uvádí tabulka 13.2.

	E [MPa]	$E_1$ [MPa]	$E_2$ [MPa]	$\mu$ [-]	G [MPa]	$G_{12}$ [MPa]
Skleněná lamina	-	16600	16600	0,25	-	3800
Dřevo	-	10000	3500	0,4	-	1000
Roving	-	120000	3400	0,28	-	2870
Herex	58	-	-	0,32	22	-

Tab. 13.2 Vlastnosti použitých materiálů

### 13.3 Zatížení a okrajové podmínky

Náhrada zatížení byla provedena pro dva případy:

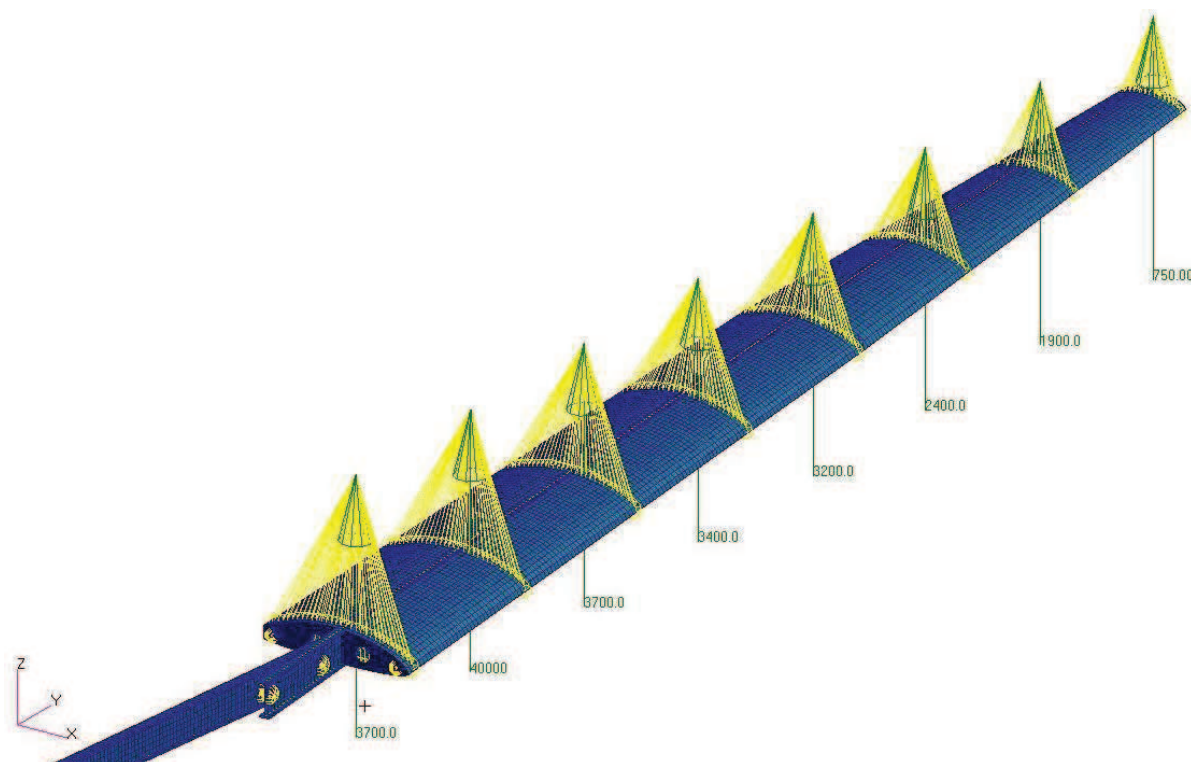
- kladný poryv při  $V_B$ , způsobující maximální ohybový moment křídla
- záporný poryv při  $V_D$ , způsobující maximální kroutící moment křídla

Spojitě zatížení bylo rozděleno do sil působících v 8 řezech. Zatížení je přeneseno pomocí prvků MPC, které nahrazují kleštiny, používané při reálné zkoušce křídla. Kroutící moment je vyvozen působením síly na odpovídajícím rameni vůči čtvrtinové čáře křídla. Náhradní síly a vzdálenosti jejich působišť od čtvrtinové čáry křídla jsou uvedeny v tab. 13.3. V obou případech se jedná o početní zatížení s koeficientem bezpečnosti 2,25.

y[m]	B+		D-	
	$\Delta T$ [N]	r[m]	$\Delta T$ [N]	r[m]
0,45	3700	0,08	-1700	1,1
1,45	4000	0,07	-1300	1,5
2,45	3700	0,07	-900	1,8
3,45	3400	0,065	-1200	1,2
4,45	3200	0,055	-1700	0,7
5,45	2400	0,06	-2000	0,5
6,45	1900	0,05	-1800	0,3
7,45	750	0,05	-800	0,2

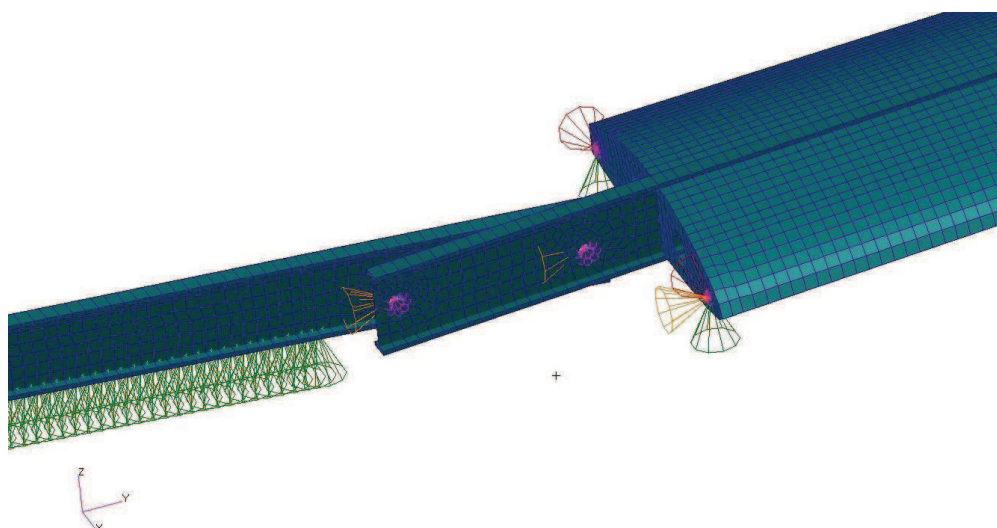
Tab. 13.3 Náhradní zatížení

Porovnání skutečných a náhradních zatížení je graficky znázorněno v přílohách 13 a 14.



Obr. 13.2 Náhrada zatížení pro případ B+

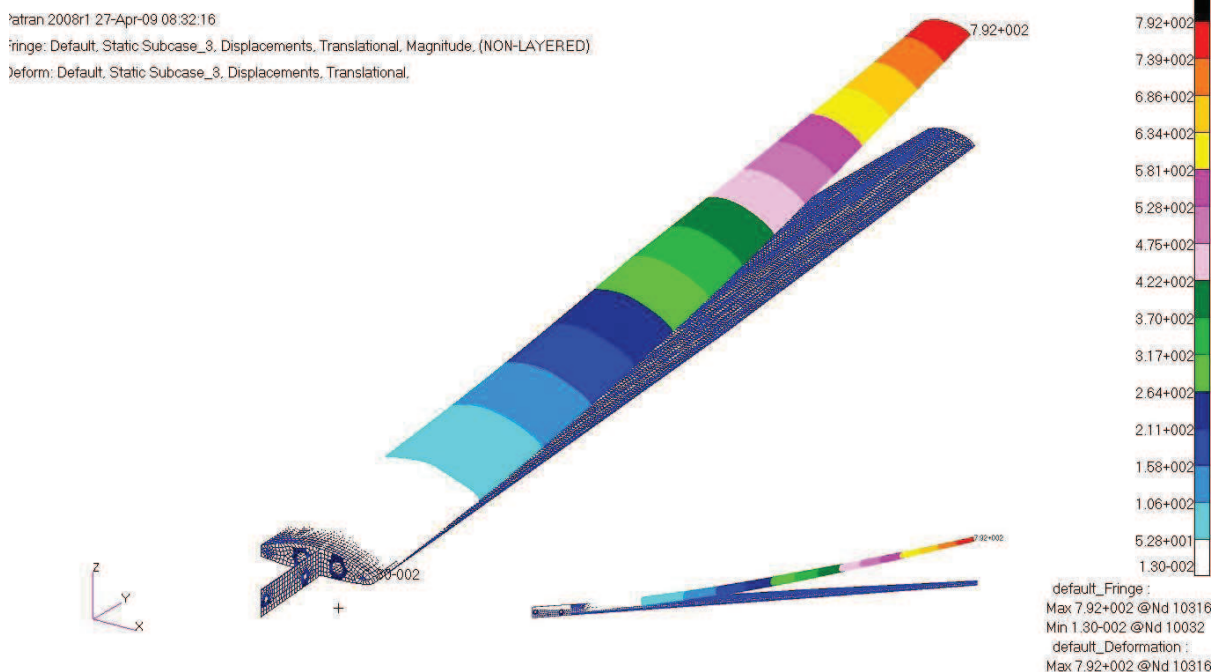
Při definování okrajových podmínek byl brán ohled na reálné upevnění konstrukce s druhou polovinou křídla a trupem. V oblasti spojení otvorů s čepy byly použity MPC prvky. Jako náhrada druhé poloviny křídla byl použit nosník shodný s nosníkem kontrolované poloviny křídla. Omezení posunutí v jednotlivých osách je zřejmé z obr. 13.3, kde červená šipka znamená omezení posunutí ve směru osy x, žlutá ve směru osy y a zelená ve směru osy z.



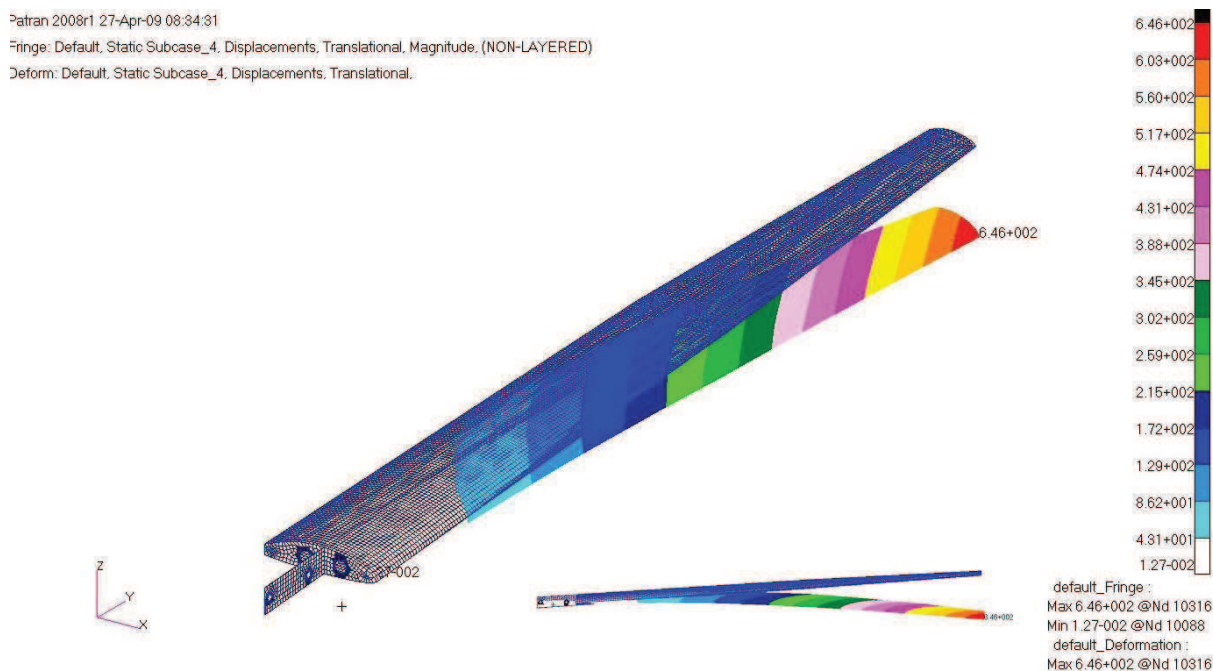
Obr. 13.3 Definování okrajových podmínek

### 13.4 Výsledky analýzy

Maximální deformace křídla jsou 792 mm na konci křídla pro případ B+ a 646 mm pro případ D- rovněž na konci křídla. Deformované tvary jsou na obrázcích 13.4 a 13.5.



Obr. 13.4 Deformovaný tvar křídla pro případ B+

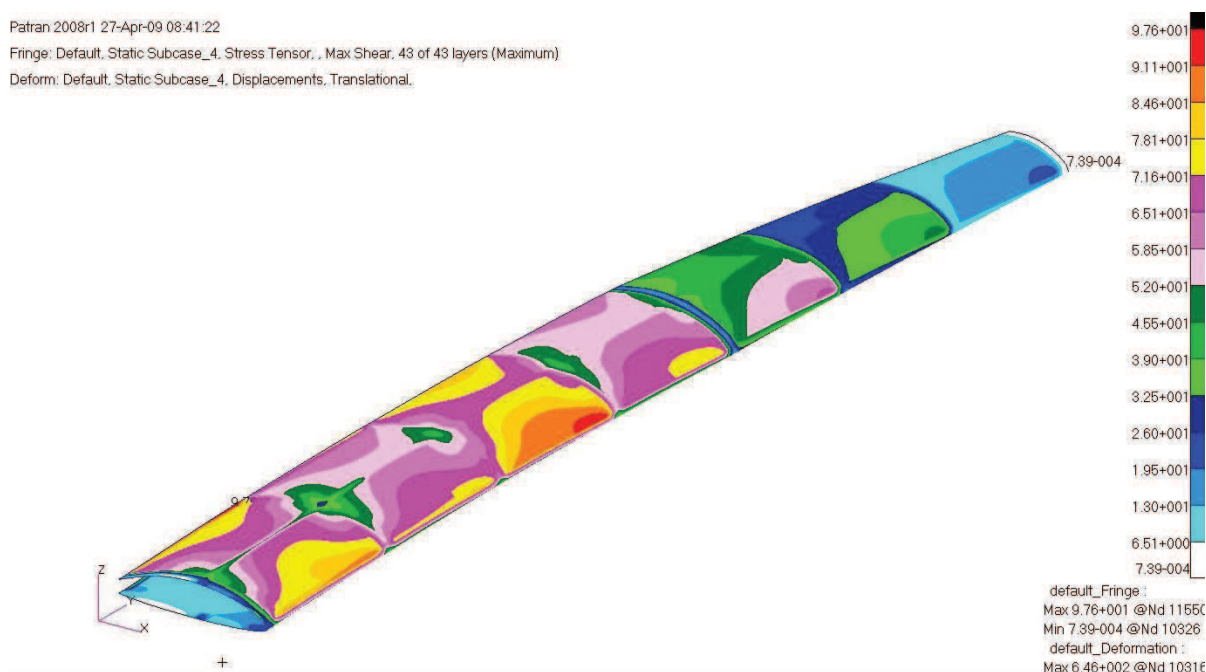


Obr. 13.5 Deformovaný tvar křídla pro případ D-

Dále byly určeny maximální napětí pro jednotlivé části křídla a vyhodnoceny součinitele rezervy. Jejich přehled uvádí tabulka 13.4.

	Druh namáhání	Dovolené napětí $\sigma_D$ [MPa]	Vypočtené maximální napětí $\sigma, \tau$ [MPa]		Součinitel rezervy $\eta$ [-]	
			B+	D-	B+	D-
Pásnice	tah	1200	745	577	1,61	2,08
	tlak	-800	-764	-471	1,05	1,70
Stojina	smyk	100	74,4	71,7	1,34	1,39
Potah	smyk	100	49	97,6	2,04	1,02
Žebra	smyk	100	68,2	38,1	1,47	2,62

Tab. 13.4 Přehled součinitelů rezervy



13.6 Maximální smykové napětí v potahu pro případ zatížení D-

### 13.5 Zhodnocení a doporučení

Analýza metodou konečných prvků prokázala schopnost konstrukce přenést početní zatížení v obou případech. Součinitele rezervy pro pásnici jsou nižší asi o 20 % oproti výpočtu v kapitole 12. To je dáno především tím že zde nebyl uvažován vliv přidavného napětí pásnic v oblasti kořene křídla. Výsledky analýzy se mohou v jistých mezích lišit od reálné zkoušky vyrobeného křídla, vzhledem k použitým materiálovým charakteristikám, které jsou u kompozitních materiálů vždy nejisté vlivem výrobní technologie. Možné rozdíly mohou rovněž plynout ze zjednodušení MKP modelu. Jedná se zejména o použití pěnové výztuhy potahu i v oblasti náběžné hrany, kde u reálné konstrukce bude umístěn konstrukční spoj horního a dolního

V Brně 2009

Bc. Vladimír Matěják

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

potahu (tzv. “zámek”), který konstrukci mírně vyztužuje. Další nepřesnost plyne z aplikace MPC prvků pro přenos zatěžujících sil. Tyto prvky konstrukci rovněž vyztužují, jak je patrné z obrázku 13.6.



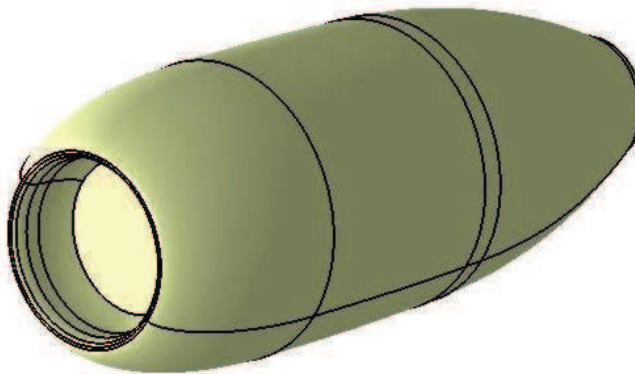
## 14 Zástavba proudového motoru

### 14.1 Charakteristika motoru TJ 100 A

TJ 100 je proudový motor určený pro pohon motorizovaných kluzáků a experimentálních letounů, vyráběný v PBS Velká Bíteš, a.s. Je charakterizován kompaktním designem, vynikajícím poměrem tah/hmotnost a nízkou spotřebou v dané výkonové kategorii. Motor má jednostupňový radiální kompresor, prstencovou spalovací komoru, axiální turbínu a pevnou výstupní trysku. Integrovaný startér-generátor umožňuje spolehlivé startování na baterie 24V, dodávku energie do palubní sítě a dochlazování motoru po zastavení. Digitální řídicí skříňka zajišťuje ovládání motoru a jeho diagnostiku. [17]

Tah max.	110 daN (247 lbf)
Délka	625 mm (24,6 in)
Vnější průměr	272 mm (10,7 in)
Celková hmotnost	20,6 kg (45,4 lb)
Elektrický výkon	750 W; 28 V
Palivo	JET A-1, JP5, JP8
Spotřeba paliva min.	1,09 kg/daN/h
Olej	3 cST/ 5 cST

Tab. 14.1 Technická data motoru TJ 100C



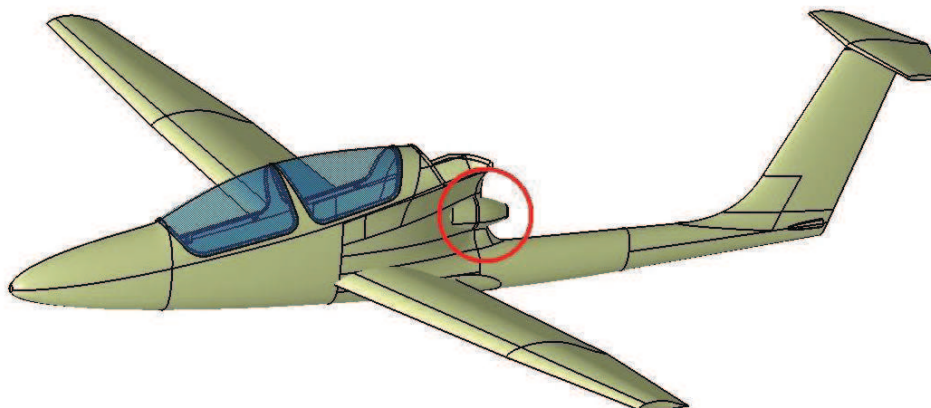
14.1 Geometrický model proudového motoru TJ 100



Obr. 14.2 Ukázka zástavby TJ 100 na kluzáku L-23 Blaník

## 14.2 Umístění motoru

Jednomotorové podzvukové proudové letouny mívají zpravidla motor umístěný uvnitř trupu. Pro koncepci trupu letounu VUT 001 Marabu je nejvhodnější zástavba motoru do středové části trupu, jak je ukázáno na obrázku 14.3. Nastává zde ovšem problém s výstupní tryskou a vstupy pro nasávání vzduchu.



Obr. 14.3 Umístění motoru

Horký výstupní proud by neměl ovlivňovat zadní část trupu a ocasní plochy. Možným řešením tohoto problému je požití rozdvojené výstupní trysky.

Vstupní soustava musí zabezpečovat konstantní proud vzduchu v různých režimech letu. Konstrukčně i aerodynamicky nejvhodnější umístění vstupní soustavy je v tomto případě na bocích trupu. V tomto uspořádání musí být vstupní otvor v dostatečné



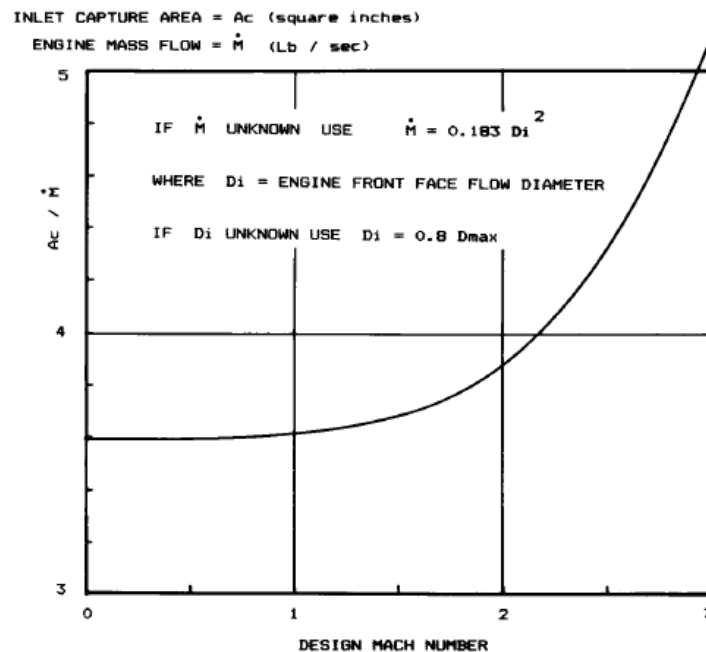
## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

vzdálenosti od křídla, aby bylo zamezeno interferenci. Rovněž musí být zabráněno nasání mezní vrstvy trupu.

### 14.3 Vstupní soustava

#### 14.3.1 Efektivní plocha vstupního otvoru

Podle [15] lze pro předběžné stanovení efektivní plochy vstupního otvoru použít statistickou metodu vyjádřenou obrázkem 14.4.



Obr. 14.4 Předběžné stanovení plochy vstupního otvoru

Maximální průměr motoru:

$$D_{max} = 272 \text{ mm} = 10,63 \text{ in}$$

Hmotnosní průtok:

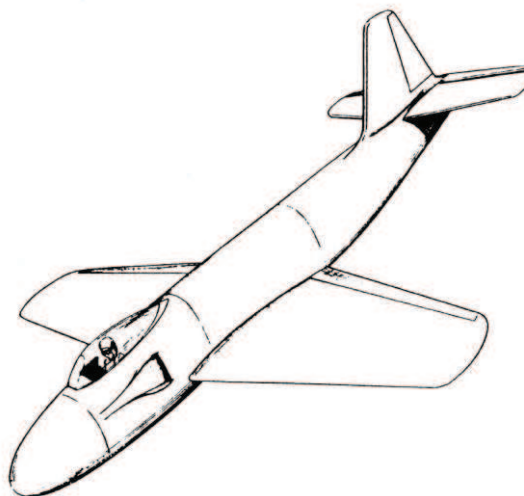
$$\dot{M} = 0,183 \cdot (0,8 \cdot D_{max})^2 = 0,183 \cdot (0,8 \cdot 10,63)^2 = 13,23 \text{ lb/s}$$

Efektivní plocha vstupního otvoru je tedy:

$$A_C = 3,6 \cdot \dot{M} = 3,6 \cdot 13,23 = 47,63 \text{ in}^2 = 30\,729 \text{ mm}^2$$

#### 14.3.2 Geometrie vstupního otvoru

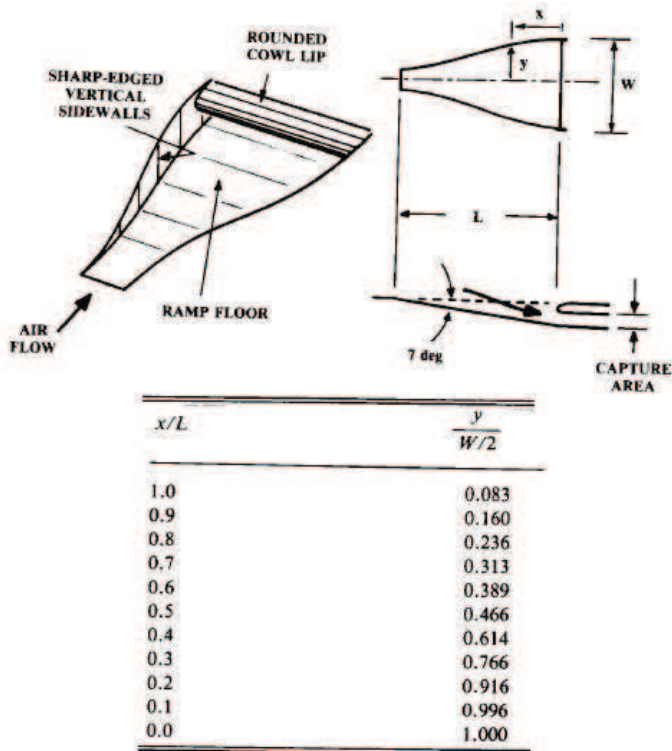
Vstupní otvor NACA je vhodný pro subsonické rychlosti. Příklad aplikace je vidět na obrázku 14.5.



Obr. 14.5 Vstupní otvor NACA

Oproti otvoru pitotova typu má menší obnovení tlaku, jeho výhodou je ovšem malý vliv na zvýšení omočené plochy trupu a hmotnosti letounu. Minimální změna vnějšího tvaru trupu je také jedním z hlavních faktorů při volbě této geometrie vstupního otvoru.

Vhodné rozměry vstupního otvoru uvádí [15]. Jsou uvedeny na obrázku 14.6.



Obr. 14.6 Doporučené rozměry vstupního otvoru

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

Dle [16] dává nejlepší výsledky vstupní otvor se štíhlostí 4. Této štíhlosti a požadované ekvivalentní ploše otvoru odpovídají rozměry:

$$w = 248 \text{ mm}$$

$$h = 62 \text{ mm}$$

$$L = 505 \text{ mm}$$

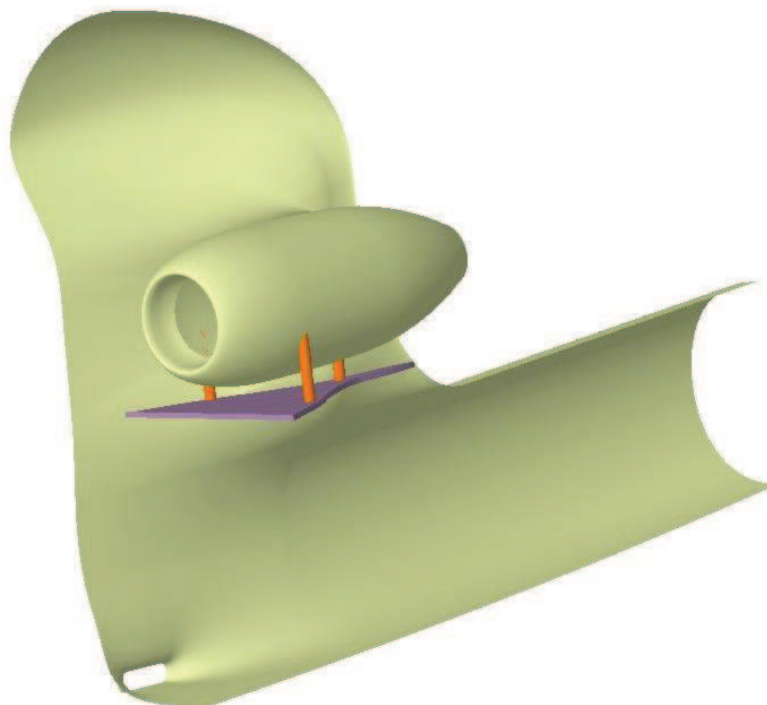
### 14.3.3 Umístění vstupního otvoru

Pro subsonické instalace proudových motorů je podle [1] nejvhodnější udržet vstupní soustavu co nejkratší, aby se předešlo tlakovým ztrátám a nárustu odporu a hmotnosti. Při vysokých úhlech náběhu nesmí být vstupní otvory ovlivněny odtrženým proudem křídla.

Rozdvojené vstupní soustavy bývají problematické zvláště při vysokých úhlech vybočení. Ve vstupní soustavě mohou vzniknout zpětné proudy, což může vést až k zablokování motoru. Aby se tomu zabránilo je vhodné udržet rozdvojení až k samotné čelní ploše motoru. [15]

### 14.4 Konstrukční řešení

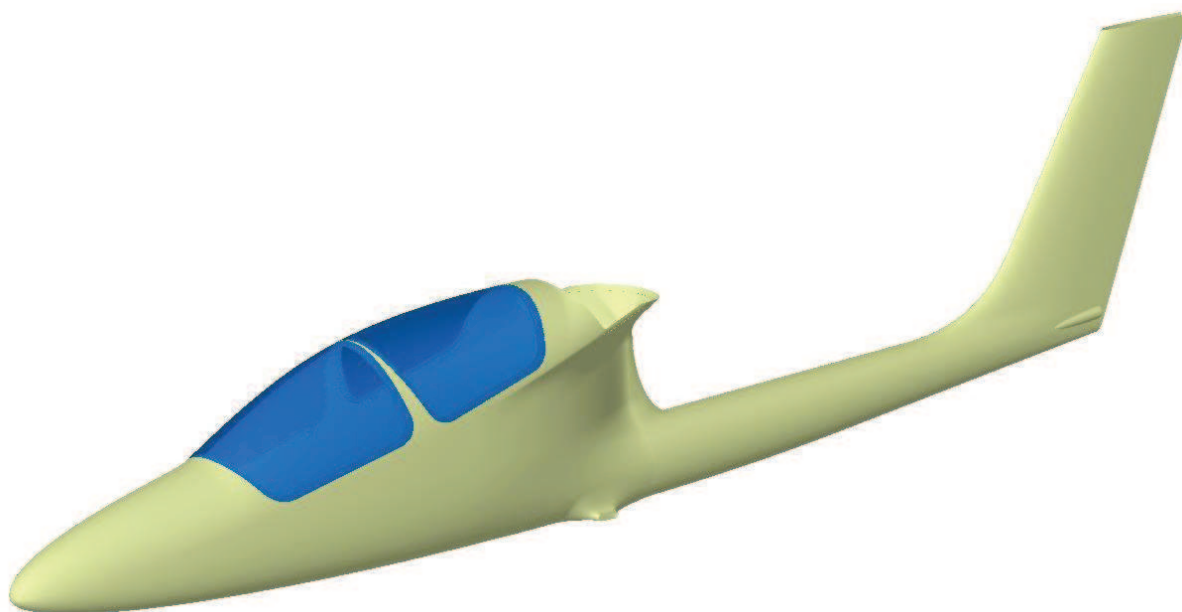
Motor bude uvnitř trupu upevněn na přepážce ve třech místech jak je znázorněno na obr.14.7.



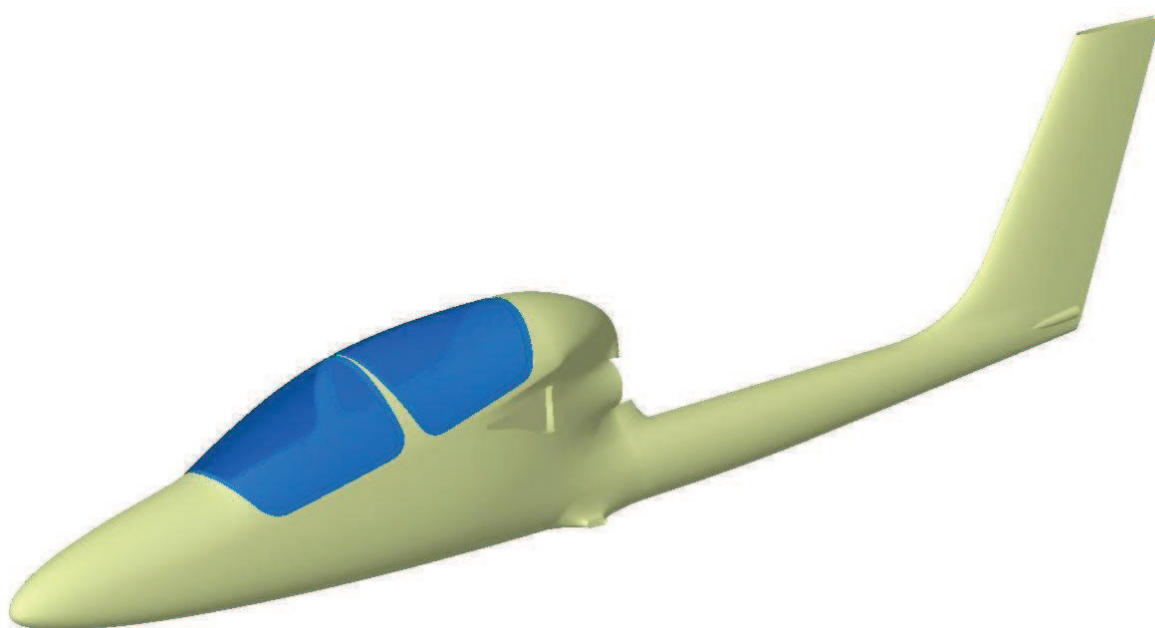
Obr. 14.7 Uchycení motoru

### **14.5 Výsledná geometrie trupu**

V rámci úpravy vnějšího tvaru střední části trupu bylo provedeno překrytí původního umístění pístového motoru, vyhlazení přechodů ploch v okolí proudového motoru a vyříznutí otvoru pro nasávání. Výsledný tvar střední části trupu s proudovým motorem ukazuje obr. 14.8. Třípohledový výkres letounu je uveden v příloze 15.



Obr. 14.8 Původní tvar trupu



Obr. 14.9 Modifikovaný tvar trupu

## 15 Závěr

V rámci práce byla navržena nová geometrie a konstrukční uspořádání křídla. Koncepce je typická pro letouny této kategorie. Zástavba proudového motoru do tohoto typu letounu je jistě zajímavou variantou a za zvážení by stála i varianta se dvěma proudovými motory, umístěnými po stranách trupu.

## 16 Seznam použitých zdrojů

- [1] ROSKAM, J., Airplane Design, University of Kansas, 1990
- [2] THOMAS F., Fundamentals of Sailplanes Design, College Park Press, 1999
- [3] ČALKOVSKÝ A., Konstrukce a pevnost letadel, VAAZ, 1984
- [4] Certification Specification for Sailplanes and Powered Sailplanes CS-22, EASA, 2003
- [5] Jane's All The World Aircraft 2007/2008
- [6] ALTHAUS D., WORTMANN F.X., Stuttgarter Profilkatalog I, Universität Stuttgart, 1981
- [7] PEŠÁK M., Hmotnostní rozbor a odhad centráží VUT 001 Marabu, Letecký ústav, VUT v Brně, 2007
- [8] KOUŘIL M., ŠOŠOVIČKA R., Aerostatické podklady letounu VUT 001 Marabu, VUT v Brně, 2007
- [9] DANĚK V., Projektování letadel, VUT v Brně, 1991
- [10] DANĚK V., Mechanika letu I, VUT v Brně, 1993
- [11] PÍŠTĚK A., GRÉGR O., KAHÁNEK V., BÖHM R., Pevnost a životnost letadel I, VUT v Brně, 1987
- [12] Dimensionierungsrichtwerte für den Segel- und Motorsegelflugzeugbau, IDAFLIEG, 1988
- [13] R&G, Handbook Composite Materials
- [14] JURAČKA J., Kompozitní konstrukce v letectví, Letecký ústav, VUT v Brně, 2008
- [15] RAYMER D.P., Aircraft design: A Conceptual Approach, AIAA, 1992
- [16] FRICK W.C., DAVIS W.F., RANDALL L.M., MOSSMAN E.A., An Experimental Investigation Of Naca Submerged-Duct Entrances, NACA ACR no. 5I20, 1945
- [17] PÍŠTĚK A., Technická specifikace-Zadání letounu VUT 001 Marabu, Letecký ústav, VUT v Brně, 2006
- [18] [http://www.pbsvb.cz/dlt\\_motory.php?lang=cs](http://www.pbsvb.cz/dlt_motory.php?lang=cs)

## 17 Seznam použitých zkratk a symbolů

Symbol	Definice	Rozměr
$a$	sklon vztlakové čáry letounu	$rad^{-1}$
	vzdálenost elastické osy křídla od náběžné hrany	$m$
	korelační koeficient	-----
$a_{KT}$	sklon vztlakové čáry kombinace křídlo-trup	$rad^{-1}$
$a_{VOP}$	sklon vztlakové čáry VOP	$rad^{-1}$
$A, Ar$	štíhlost křídla	-----
$Ar_{VOP}$	štíhlost VOP	-----
$A_C$	ekvivalentní plocha vstupního otvoru	$mm^2$ ( $in^2$ )
$A_p$	plocha pásnice	$mm^2$
$A_{st}$	plocha průřezu stojiny	$mm^2$
$b$	rozpětí křídla	$m$
	korelační koeficient	-----
$b_p$	šířka pásnice	$mm$
$b_{VOP}$	rozpětí VOP	$m$
$b_{tr}$	šířka trupu	$m$
$c$	hloubka křídla v daném řezu	$m$
$cl_0$	nulový součinitel vztlaku	-----
$cl_c$	celkový součinitel vztlaku	-----
$cl_{kl}$	součinitel vztlaku od výchylky klapky	-----
$cl_{krantis}$	antisymetrický součinitel vztlaku od výchylky křídélka	-----
$cl_{krsym}$	symetrický součinitel vztlaku od výchylky křídélka	-----
$cl_n$	normální součinitel vztlaku	-----
$cl_{thum}$	součinitel vztlaku od tlumení	-----



## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

$c_0$	hloubka křídla u kořene	$m$
$c_{0\_VOP}$	kořenová hloubka VOP	$m$
$c_1$	hloubka křídla v zalomení	$m$
$c_D$	součinitel odporu	-----
$c_{D0}$	součinitel odporu při nulovém vztlaku	-----
$c_L$	součinitel vztlaku	-----
$c_{L\alpha} = a_{kř}$	sklon vztlakové čáry křídla	$rad^{-1}$
$c_{SAT}$	střední aerodynamická tětíva křídla	$m$
$c_{SAT\_VOP}$	střední aerodynamická tětíva VOP	$m$
$c_{SGT}$	střední geometrická tětíva křídla	$m$
$c_f$	třecí koeficient	-----
$c_k$	hloubka křídla na konci	$m$
$c_{k\_VOP}$	koncová hloubka VOP	$m$
$c_l$	součinitel vztlaku profilu	-----
$c_{m0}$	klopivý moment při nulovém vztlaku	-----
$c_{l\alpha}$	sklon vztlakové čáry profilu	$rad^{-1}$
$C$	centráž	% SAT
$d$	průměr otvoru	$m$
$D$	odpor průměr motoru	----- $m$
$E$	modul pružnosti v tahu	$MPa$
$E_1$	modul pružnosti v tahu ve směru vláken	$MPa$
$E_2$	modul pružnosti v tahu kolmo na směr vláken	$MPa$
$f$	ekvivalentní škodlivá plocha	$ft^2$

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

$F$	síla	$N$
$F_P$	síla do pásnice	$N$
$F_{VOP}$	vyvažovací síla na VOP	$N$
$g$	gravitační zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
$G$	modul pružnosti ve smyku	$MPa$
$h$	výška	$m \text{ (mm)}$
$h_e$	efektivní výška nosníku	$mm$
$h_P$	výška pásnice	$mm$
$I_x$	moment k ose x	$kg \cdot mm$
$I_y$	moment k ose y	$kg \cdot mm$
$J_x$	moment setrvačnosti letounu k ose X	$kg \cdot m^2$
$k$	zmírňující součinitel poryvu	----
$k_1, k_2$	součinitel	----
$k_{VOP}$	součinitel snížení dynamického tlaku na VOP	----
$K_b$	faktor rozpětí klapky	----
$K_p$	faktor rozpětí klapky	----
$K_T$	faktor intenzity napětí	----
$K_\chi$	převodní faktor	----
$l$	délka, polorozpětí křídla	$m \text{ (mm)}$
$\overline{l_{VOP}}$	rameno VOP	$m$
$L$	vztlak, délka	$N$
$L'$	je vliv polohy maximální tloušťky profilu	----
$m$	hmotnost	$kg$
$m_E$	prázdná hmotnost letounu	$kg$

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

$m_L$	maximální přistávací hmotnost	$kg$
$m_{PL}$	maximální užitečné zatížení	$kg$
$m_{TOW}$	maximální vzletová hmotnost	$kg$
$m_{ZFW}$	vzletová hmotnost letounu bez paliva	$kg$
$m_{kř}$	hmotnost křídla	$kg$
$m_{pal}$	hmotnost paliva	$kg$
$\dot{M}$	hmotnostní průtok	$lb \cdot s^{-1}$
$M_K$	kroucí moment	$Nm$
$M_{KA}$	kroucí moment od aerodynamického zatížení	$Nm$
$M_{KG}$	kroucí moment od hmotového zatížení	$Nm$
$M_O$	ohybový moment	$Nm$
$M_{OA}$	ohybový moment od aerodynamického zatížení	$Nm$
$M_{OG}$	ohybový moment od hmotového zatížení	$Nm$
$M_x$	moment od antisymetrického rozložení vztlaku od křidélek	$Nm$
$n$	násobek zatížení počet vrstev	----- -----
$q_A$	spojité zatížení od aerodynamického zatížení	$N \cdot m^{-1}$
$q_G$	spojité zatížení od hmotového zatížení	$N \cdot m^{-1}$
$q_K$	smykový tok	$N \cdot mm^{-1}$
$q_{mA}$	spojité zatížení kroucím momentem	$N$
$r$	rameno působící síly	$m$
$R_1$	je faktor interference křídlo-trup	-----
$R_2$	je korekční faktor vztlakové plochy	-----
$s_p$	tloušťka potahu	$mm$

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

$s_{st}$	tloušťka stojiny	$mm$
$s_z$	tloušťka žebra	$mm$
$S$	plocha křídla	$m^2 \text{ (ft}^2\text{)}$
$S_{TO}$	délka vzletu do 15 m	$m$
$S_{VOP}$	plocha VOP	$m^2$
$S_{WET}$	omočená plocha	$m^2 \text{ (ft}^2\text{)}$
$S_{wf}$	plocha křídla ovlivněná klapkami	$m^2$
$t$	tloušťka profilu	$mm$
$T$	posouvající síla	$N$
$T_A$	posouvající síla od aerodynamického zatížení	$N$
$T_G$	posouvající síla od hmotového zatížení	$N$
$U$	rychlost poryvu plocha dutiny	$m \cdot s^{-1}$ $mm^2$
$V$	rychlost letu	$km \cdot h^{-1} \text{ (} m \cdot s^{-1}\text{)}$
$V_A$	návrhová obratová rychlost	$km \cdot h^{-1}$
$V_B$	návrhová rychlost poryvu	$km \cdot h^{-1}$
$V_D$	maximální návrhová rychlost	$km \cdot h^{-1}$
$V_F$	návrhová rychlost s klapkami	$km \cdot h^{-1}$
$V_G$	návrhová obratová rychlost pro let na zádech	$km \cdot h^{-1}$
$V_H$	maximální rychlost vodorovného letu	$km \cdot h^{-1}$
$V_S$	pádová rychlost	$km \cdot h^{-1}$
$V_{S1}$	pádová rychlost bez klapek	$km \cdot h^{-1}$
$V_{SF}$	pádová rychlost s plně vysunutými klapkami	$km \cdot h^{-1}$
$V_{SG}$	pádová rychlost pro let na zádech	$km \cdot h^{-1}$

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

$V_{zmax}$	maximální stoupací rychlost	$m \cdot s^{-1}$
$\overline{V_{VOP}}$	mohutnost VOP	-----
$\left(\frac{V_{VOP}}{V_{KŘ}}\right)^*$	redukovaný objem VOP	-----
$w$	šířka	$m \text{ (mm)}$
$W/P$	výkonové zatížení	$kg \cdot kW^{-1}$
$W/S$	plošné zatížení	$kg \cdot m^{-2}$
$x$	poloha v ose x	$m \text{ (mm)}$
$\overline{x_{AKT}}$	aerodynamický střed kombinace křídlo-trup	-----
$\overline{X_T}$	poloha těžiště	-----
$\overline{x_{A_{kř}}}$	aerodynamický střed křídla	-----
$\overline{x_A}$	aerodynamický střed	-----
$\overline{x_{ref}}$	poloha referenčního bodu	-----
$y$	poloha v ose y	$m \text{ (mm)}$
$\alpha$	úhel náběhu	°
$\alpha_0$	úhel nulového vztlaču	°
$\alpha_{ZKR}$	úhel zkroucení koncového profilu	°
$\Gamma$	úhel vzepětí křídla	°
$\Gamma_{VOP}$	úhel vzepětí VOP	°
$\delta$	Glauertův opravný součinitel	-----
$\delta_{KL}$	výchylka klappek	°
$\Delta$	přírůstek	-----
$\varepsilon_x$	rotační zrychlení	$rad \cdot s^{-2}$
$\eta$	zúžení křídla, součinitel rezervy	-----

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

$\mu$	bezrozměrný hmotnostní poměr Poissonovo číslo	----- -----
$\rho$	hustota vzduchu	$kg \cdot m^{-3}$
$\rho_0$	hustota vzduchu v 0 m MSA	$kg \cdot m^{-3}$
$\sigma_S$	statická zásoba	-----
$\sigma$	napětí	$MPa$
$\sigma_{dov}$	dovolené napětí	$MPa$
$\tau$	smykové napětí	$MPa$
$\tau_{dov}$	dovolené smykové napětí	$MPa$
$\varphi_{kř}$	úhel nastavení kořenového profilu křídla	°
$\varphi_{str}$	úhel, který svírá střední čára trupu se základní rovinou trupu	°
$\chi$	úhel šípů	°
$\chi_{VOP}$	úhel šípů VOP	°

## 18 Seznam příloh

Příloha 1	Celkové rozložení vztlaku na křídle
Příloha 2	Spojitě aerodynamické zatížení
Příloha 3	Spojitě hmotové zatížení
Příloha 4	Posouvající síla od aerodynamického zatížení
Příloha 5	Posouvající síla od hmotového zatížení
Příloha 6	Výsledná posouvající síla
Příloha 7	Ohybový moment od aerodynamického zatížení
Příloha 8	Ohybový moment od hmotového zatížení
Příloha 9	Výsledný ohybový moment
Příloha 10	Kroutící moment od aerodynamického zatížení
Příloha 11	Kroutící moment od hmotového zatížení
Příloha 12	Výsledný kroutící moment
Příloha 13	Porovnání skutečného a náhradního zatížení pro případ B+
Příloha 14	Porovnání skutečného a náhradního zatížení pro případ D-
Příloha 15	Třípohledový výkres

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

## Příloha 1

Celkové rozložení vztlaku pro  $m_{TOW}$ :

Celkové rozložení vztlaku	A	G	B+	B-	D+	D-	F	Akr+ poc	Akr- poc	Dkr+ poc	Dkr- poc	Akr+ ust	Akr- ust	Dkr+ ust	Dkr- ust
y[m]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	0,397475	-0,40136	0,326697	-0,28243	0,069916	-0,11308	0,408566	0,403267	0,071267	0,070716	-0,03928	0,123767	0,350767	-0,02238	0,053816
7,398	0,694381	-0,69704	0,571099	-0,4899	0,123831	-0,19491	0,774406	0,78423	0,00423	0,152392	-0,10761	0,30133	0,48713	-0,00851	0,053292
7,271	0,89263	-0,88698	0,734954	-0,62205	0,162905	-0,24476	1,096027	1,140458	-0,18954	0,244072	-0,19993	0,532258	0,418658	0,041472	0,002672
7,094	1,020337	-0,99897	0,841424	-0,69835	0,192326	-0,27025	1,270638	1,325695	-0,2423	0,29143	-0,23057	0,651195	0,432195	0,06663	-0,00577
6,868	1,103247	-1,05905	0,911665	-0,73715	0,216602	-0,27873	1,378219	1,434076	-0,25592	0,324721	-0,23928	0,733676	0,444476	0,091321	-0,00588
6,596	1,159193	-1,08629	0,960241	-0,752	0,238439	-0,27595	1,447624	1,499589	-0,24841	0,349331	-0,23267	0,800589	0,450589	0,116431	0,000231
6,279	1,198727	-1,09236	0,995734	-0,75128	0,259274	-0,26556	1,494123	1,536662	-0,22334	0,369299	-0,2167	0,857562	0,455762	0,142999	0,009599
5,919	1,228072	-1,08432	1,023191	-0,74007	0,279881	-0,24983	1,52659	1,554054	-0,18395	0,386567	-0,19343	0,907954	0,462154	0,171267	0,021867
5,518	1,249872	-1,06688	1,044605	-0,72198	0,299895	-0,23082	1,548764	1,550046	-0,12595	0,397308	-0,16069	0,946646	0,477446	0,196308	0,040308
5,08	1,264315	-1,04235	1,059941	-0,69895	0,318472	-0,20993	1,561308	1,515359	-0,03464	0,399519	-0,11648	0,962459	0,518259	0,215319	0,067719
4,607	1,26658	-1,0119	1,064704	-0,6727	0,332295	-0,18965	1,558904	1,402854	0,150854	0,376113	-0,04189	0,907454	0,646254	0,211013	0,123213
4,102	1,287394	-1,0156	1,083345	-0,67275	0,343055	-0,18451	1,581388	1,093119	0,659119	0,275332	0,131332	0,647019	1,105219	0,126732	0,279932
3,57	1,302708	-1,02481	1,096487	-0,67831	0,348315	-0,18486	1,597372	1,016883	0,798883	0,252051	0,178051	0,624683	1,191083	0,121351	0,308751
3,013	1,309881	-1,03047	1,102523	-0,68206	0,350225	-0,18589	1,602343	0,985675	0,857675	0,241155	0,197155	0,653075	1,190275	0,130355	0,307955
2,435	1,311859	-1,03353	1,104054	-0,68437	0,350137	-0,18714	1,59847	0,967718	0,887718	0,23275	0,20675	0,698618	1,156818	0,14315	0,29635
1,841	1,309775	-1,03401	1,102113	-0,68509	0,34871	-0,1882	1,584311	0,952932	0,902932	0,227424	0,211424	0,750032	1,105832	0,159824	0,279024
1,234	1,303323	-1,0313	1,096473	-0,68374	0,346017	-0,18879	1,550861	0,940181	0,910181	0,222307	0,212307	0,804981	1,045381	0,177307	0,257307
0,619	1,291693	-1,02437	1,086487	-0,67957	0,341998	-0,18856	1,44701	0,923994	0,909994	0,216454	0,212454	0,856894	0,977094	0,194154	0,234754
0	1,269754	-1,0085	1,067898	-0,66933	0,335563	-0,18633	1,247853	0,90107	0,90107	0,210395	0,210395	0,90107	0,90107	0,210395	0,210395

Celkové rozložení vztlaku pro  $m_{ZFW}$ :

Celkové rozložení vztlaku	*A	*G	*B+	*B-	*D+	*D-	*F	*Akr+ poc	*Akr- poc	*Dkr+ poc	*Dkr- poc	*Akr+ ust	*Akr- ust	*Dkr+ ust	*Dkr- ust
y[m]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]	cl[-]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	0,397487	-0,40133	0,333291	-0,29479	0,059014	-0,11248	0,481321	0,403276	0,071276	0,056961	-0,05304	0,123776	0,350776	-0,03614	0,040061
7,398	0,694403	-0,697	0,582584	-0,51142	0,104843	-0,19387	0,840426	0,784245	0,004245	0,128433	-0,13157	0,301345	0,487145	-0,03247	0,029333
7,271	0,892658	-0,88693	0,749643	-0,64957	0,138619	-0,24343	1,079419	1,140478	-0,18952	0,213428	-0,23057	0,532278	0,418678	0,010828	-0,02797
7,094	1,02037	-0,99891	0,858091	-0,72958	0,164769	-0,26874	1,232285	1,325717	-0,24228	0,256659	-0,26534	0,651217	0,432217	0,031859	-0,04054
6,868	1,103282	-1,05899	0,929512	-0,77059	0,187094	-0,27711	1,330204	1,434099	-0,2559	0,287487	-0,27651	0,733699	0,444499	0,054087	-0,04311
6,596	1,15923	-1,08622	0,978775	-0,78673	0,207796	-0,27427	1,394881	1,499613	-0,24839	0,310665	-0,27134	0,800613	0,450613	0,077765	-0,03844
6,279	1,198764	-1,09229	1,014644	-0,78671	0,228008	-0,26385	1,439201	1,536687	-0,22331	0,329848	-0,25615	0,857587	0,455787	0,103548	-0,02985
5,919	1,22811	-1,08425	1,042278	-0,77583	0,248325	-0,2481	1,470783	1,554079	-0,18392	0,346749	-0,23325	0,907979	0,462179	0,131449	-0,01795
5,518	1,249909	-1,06681	1,063727	-0,75781	0,268279	-0,22908	1,493304	1,550071	-0,12593	0,357415	-0,20059	0,946671	0,477471	0,156415	0,000415
5,08	1,264352	-1,04228	1,07898	-0,73463	0,286994	-0,2082	1,506425	1,515384	-0,03462	0,359799	-0,1562	0,962484	0,518284	0,175599	0,027999
4,607	1,266617	-1,01183	1,08351	-0,70793	0,301202	-0,18795	1,505731	1,402878	0,150878	0,336879	-0,08112	0,907478	0,646278	0,171779	0,083979
4,102	1,287431	-1,01554	1,102354	-0,70837	0,311627	-0,18278	1,529119	1,093143	0,659143	0,235676	0,091676	0,647043	1,105243	0,087076	0,240276
3,57	1,302746	-1,02474	1,115698	-0,7143	0,316552	-0,18312	1,547006	1,016908	0,798908	0,211972	0,137972	0,624708	1,191108	0,081272	0,268672
3,013	1,309918	-1,0304	1,12184	-0,71825	0,318288	-0,18414	1,555526	0,9857	0,8577	0,200856	0,156856	0,6531	1,1903	0,090056	0,267656
2,435	1,311897	-1,03346	1,123413	-0,72064	0,31813	-0,18538	1,558034	0,967744	0,887744	0,192363	0,166363	0,698644	1,156844	0,102763	0,255963
1,841	1,309813	-1,03394	1,121458	-0,72134	0,316726	-0,18644	1,555781	0,952957	0,902957	0,187065	0,171065	0,750057	1,105857	0,119465	0,238665
1,234	1,303361	-1,03123	1,115743	-0,71984	0,314158	-0,18704	1,548367	0,940206	0,910206	0,182106	0,172106	0,805006	1,045406	0,137106	0,217106
0,619	1,291731	-1,0243	1,105604	-0,71539	0,310392	-0,18682	1,534789	0,924019	0,910019	0,176573	0,172573	0,856919	0,977119	0,154273	0,194873
0	1,269791	-1,00843	1,086703	-0,70456	0,304473	-0,18463	1,508881	0,901095	0,901095	0,171165	0,171165	0,901095	0,901095	0,171165	0,171165



## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

## Příloha 2

Spojité aerodynamické zatížení pro  $m_{TOW}$ :

Spojité aerodynamické zatížení	A	G	B+	B-	D+	D-	F	A <sub>kr</sub> + poc	A <sub>kr</sub> - poc	D <sub>kr</sub> + poc	D <sub>kr</sub> - poc	A <sub>kr</sub> + ust	A <sub>kr</sub> - ust	D <sub>kr</sub> + ust	D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	330,1229	-208,331	331,9612	-286,984	196,6228	-318,006	214,1281	334,9341	59,19118	198,874	-110,477	102,7951	291,3302	-62,9495	151,3464
7,398	591,0069	-370,775	594,6781	-510,126	356,8756	-561,725	415,9181	667,4799	3,600327	439,1879	-310,121	256,4704	414,6099	-24,5188	153,5861
7,271	791,4673	-491,51	797,2555	-674,778	489,0886	-734,849	613,2361	1011,209	-168,061	732,7767	-600,245	471,9372	371,2115	124,5105	8,021204
7,094	954,3267	-583,931	962,8178	-799,103	609,0927	-855,876	749,9282	1239,93	-226,629	922,9547	-730,211	609,0664	404,2345	211,0166	-18,273
6,868	1099,976	-659,908	1112,043	-899,166	731,2497	-940,991	867,1085	1429,824	-255,165	1096,259	-807,808	731,5008	443,1582	308,299	-19,8487
6,596	1242,493	-727,678	1259,198	-986,123	865,3829	-1001,51	979,1254	1607,349	-266,262	1267,848	-844,442	858,1192	482,9683	422,5688	0,836653
6,279	1388,015	-790,486	1410,565	-1064,27	1016,541	-1041,18	1091,704	1779,313	-258,605	1447,922	-849,624	992,9776	527,7303	560,6612	37,6362
5,919	1543,749	-851,857	1573,567	-1138,16	1191,292	-1063,4	1210,931	1953,523	-231,23	1645,395	-823,333	1141,343	580,9504	728,986	93,07576
5,518	1709,095	-911,74	1747,546	-1207,81	1388,554	-1068,71	1336,381	2119,557	-172,232	1839,587	-744,026	1294,458	652,8668	908,9311	186,6306
5,08	1880,207	-968,769	1928,449	-1271,67	1603,669	-1057,1	1465,156	2253,544	-51,5156	2011,779	-586,542	1431,307	770,7214	1084,239	340,9982
4,607	2047,056	-1022,09	2105,241	-1330,13	1818,502	-1037,87	1589,868	2267,303	243,8111	2058,297	-229,229	1466,634	1044,48	1154,779	674,2889
4,102	2164,983	-1067,39	2228,875	-1384,12	1953,437	-1050,63	1678,132	1838,274	1108,426	1567,805	747,8347	1088,077	1858,623	721,6412	1593,999
3,57	2254,095	-1108,22	2321,156	-1435,91	2040,749	-1083,11	1744,118	1759,528	1382,32	1476,745	1043,185	1080,899	2060,949	710,9843	1808,946
3,013	2335,113	-1148,07	2404,582	-1487,56	2114,056	-1122,1	1802,504	1757,155	1528,97	1455,677	1190,081	1164,232	2121,894	786,8583	1858,9
2,435	2407,352	-1185,31	2478,67	-1536,45	2175,618	-1162,8	1850,979	1775,83	1629,024	1446,218	1284,664	1282,013	2122,841	889,4773	1841,404
1,841	2474,58	-1220,92	2547,454	-1583,54	2230,808	-1203,95	1888,817	1800,39	1705,924	1454,902	1352,545	1417,048	2089,267	1022,443	1785,003
1,234	2535,53	-1253,88	2609,698	-1627,36	2279,328	-1243,62	1903,856	1829,606	1770,697	1464,407	1398,534	1566,037	2033,72	1167,977	1694,963
0,619	2585,392	-1281,38	2660,526	-1664,09	2317,839	-1277,91	1827,608	1849,424	1821,402	1466,984	1439,875	1715,119	1955,706	1315,849	1591,01
0	2612,736	-1296,9	2688,324	-1684,97	2337,99	-1298,23	1620,258	1854,106	1854,106	1465,899	1465,899	1854,106	1854,106	1465,899	1465,899

Spojité aerodynamické zatížení pro  $m_{ZFW}$ :

Spojité aerodynamické zatížení	*A	*G	*B+	*B-	*D+	*D-	*F	*A <sub>kr</sub> + poc	*A <sub>kr</sub> - poc	*D <sub>kr</sub> + poc	*D <sub>kr</sub> - poc	*A <sub>kr</sub> + ust	*A <sub>kr</sub> - ust	*D <sub>kr</sub> + ust	*D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]	q <sub>A</sub> [N/m]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	261,3482	-164,93	279,8851	-247,551	165,9653	-316,325	200,8951	265,1541	46,86397	160,1899	-149,161	81,38274	230,6353	-101,634	112,6624
7,398	467,882	-293,532	501,3529	-440,11	302,1526	-558,725	359,4702	528,4163	2,86026	370,1377	-379,171	203,0432	328,2334	-93,569	84,53584
7,271	626,5803	-389,115	672,0574	-582,341	416,176	-730,852	480,9727	800,531	-133,031	640,7746	-692,247	373,6195	293,8807	32,50839	-83,9809
7,094	755,5109	-462,282	811,479	-689,948	521,8215	-851,091	579,2063	981,5986	-179,393	812,8347	-840,331	482,1796	320,0258	100,8965	-128,393
6,868	870,8169	-522,431	937,0356	-776,823	631,6309	-935,53	666,4958	1131,93	-201,982	970,5582	-933,509	579,1063	350,8417	182,5985	-145,549
6,596	983,6422	-576,081	1060,745	-852,613	754,168	-995,416	751,3526	1272,468	-210,764	1127,515	-984,775	679,3451	382,3593	282,2362	-139,496
6,279	1098,847	-625,805	1187,895	-921,042	893,9583	-1034,46	837,4599	1408,604	-204,7	1293,245	-1004,3	786,107	417,7969	405,9841	-117,041
5,919	1222,136	-674,39	1324,727	-986,078	1056,975	-1056,04	929,116	1546,519	-183,027	1475,912	-992,816	903,562	459,9305	559,5032	-76,407
5,518	1353,035	-721,796	1470,691	-1047,73	1242,169	-1060,69	1025,984	1677,961	-136,319	1654,877	-928,736	1024,777	516,8649	724,221	1,920563
5,08	1488,498	-766,943	1622,387	-1104,61	1445,162	-1048,41	1125,814	1784,033	-40,7528	1811,771	-786,549	1133,114	610,1659	884,2314	140,9908
4,607	1620,586	-809,157	1770,601	-1156,86	1648,342	-1028,54	1222,963	1794,927	193,0429	1843,586	-443,939	1161,083	826,8875	940,0683	459,5785
4,102	1713,945	-845,018	1874,367	-1204,46	1774,479	-1040,82	1292,269	1455,291	877,5112	1341,993	522,0223	861,4026	1471,4	495,8288	1368,186
3,57	1784,491	-877,338	1951,921	-1249,68	1854,654	-1072,9	1345,197	1392,954	1094,339	1241,929	808,3683	855,721	1631,571	476,1675	1574,129
3,013	1848,631	-908,887	2022,076	-1294,62	1921,271	-1111,53	1393,549	1391,076	1210,435	1212,419	946,8226	921,6922	1679,819	543,5997	1615,642
2,435	1905,82	-938,372	2084,406	-1337,1	1976,742	-1151,9	1436,805	1405,861	1289,643	1195,273	1033,719	1014,934	1680,571	638,5321	1590,459
1,841	1959,042	-966,56	2142,289	-1377,95	2026,193	-1192,73	1477,141	1425,305	1350,522	1196,715	1094,358	1121,835	1653,992	764,2566	1526,816
1,234	2007,295	-992,658	2194,679	-1415,94	2069,459	-1232,11	1513,768	1448,003	1401,8	1199,591	1133,717	1239,782	1610,02	903,161	1430,147
0,619	2046,769	-1014,43	2237,469	-1447,77	2103,633	-1266,17	1543,776	1464,124	1441,941	1196,695	1169,586	1357,803	1548,262	1045,56	1320,721
0	2068,416	-1026,71	2260,878	-1465,84	2121,373	-1286,35	1560,27	1467,831	1467,831	1192,568	1192,568	1467,831	1467,831	1192,568	1192,568

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

## Příloha 3

Spojité hmotové zatížení pro  $m_{TOW}$ :

Spojité hmotové zatížení	A	G	B+	B-	D+	D-	F	A <sub>kr</sub> + poc	A <sub>kr</sub> - poc	D <sub>kr</sub> + poc	D <sub>kr</sub> - poc	A <sub>kr</sub> + ust	A <sub>kr</sub> - ust	D <sub>kr</sub> + ust	D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]
7,5	177,6931	-122,374	180,2077	-113,154	155,5318	-88,4778	134,108	213,0373	23,66342	196,3892	-17,355	118,3503	118,3503	89,51711	89,51711
7,474	179,3085	-123,486	181,8459	-114,182	156,9457	-89,2821	135,3272	214,6427	24,20978	197,8007	-17,1389	119,4263	119,4263	90,3309	90,3309
7,398	183,7509	-126,545	186,3511	-117,011	160,834	-91,4941	138,6799	218,9682	25,80177	201,5813	-16,4436	122,385	122,385	92,56883	92,56883
7,271	191,424	-131,83	194,1328	-121,897	167,5502	-95,3147	144,4709	226,3847	28,60647	208,0494	-15,1807	127,4956	127,4956	96,43434	96,43434
7,094	201,924	-139,061	204,7814	-128,584	176,7407	-100,543	152,3955	236,2631	32,71493	216,5953	-13,1473	134,489	134,489	101,724	101,724
6,868	215,251	-148,239	218,297	-137,07	188,4056	-107,179	162,4536	248,4002	38,33042	226,9895	-10,1139	143,3653	143,3653	108,4378	108,4378
6,596	231,4049	-159,364	234,6795	-147,357	202,5448	-115,222	174,6452	262,5699	45,67898	238,9769	-5,82547	154,1244	154,1244	116,5757	116,5757
6,279	249,9819	-172,157	253,5194	-159,187	218,805	-124,472	188,6656	278,0185	54,97628	251,807	0,061639	166,4974	166,4974	125,9343	125,9343
5,919	271,3859	-186,898	275,2263	-172,816	237,5395	-135,13	204,8195	294,8816	66,62487	265,5325	7,901612	180,7532	180,7532	136,717	136,717
5,518	295,2129	-203,307	299,3905	-187,989	258,3949	-146,994	222,8022	312,3607	80,88518	279,3524	18,08854	196,623	196,623	148,7205	148,7205
5,08	321,0592	-221,107	325,6025	-204,448	281,0177	-159,863	242,3088	329,7171	97,95798	292,5331	30,94916	213,8375	213,8375	161,7411	161,7411
4,607	348,9247	-240,297	353,8623	-222,193	305,4079	-173,738	263,3394	346,608	118,186	304,6878	46,87035	232,397	232,397	175,7791	175,7791
4,102	1295,719	-892,335	1314,054	-825,104	1134,121	-645,17	977,901	1240,626	485,3694	1078,974	226,5241	862,9976	862,9976	652,7489	652,7489
3,57	1306,219	-899,566	1324,703	-831,79	1143,311	-650,398	985,8256	1201,307	538,6752	1031,991	284,0861	869,9911	869,9911	658,0386	658,0386
3,013	1317,527	-907,353	1336,171	-838,991	1153,209	-656,029	994,3597	1159,566	595,4786	982,0748	345,3954	877,5225	877,5225	663,7351	663,7351
2,435	1328,834	-915,141	1347,639	-846,192	1163,106	-661,659	1002,894	1114,948	655,1597	928,9106	409,9527	885,0538	885,0538	669,4317	669,4317
1,841	1340,546	-923,206	1359,516	-853,65	1173,357	-667,491	1011,733	1068,199	717,5091	873,2417	477,4216	892,8542	892,8542	675,3317	675,3317
1,234	1352,661	-931,55	1371,803	-861,365	1183,962	-673,523	1020,877	1019,517	782,3297	815,2907	547,5795	900,9235	900,9235	681,4351	681,4351
0,619	1364,777	-939,893	1384,09	-869,08	1194,566	-679,556	1030,02	969,0149	848,9709	755,2847	619,7924	908,9929	908,9929	687,5385	687,5385
0	444,2329	-305,934	450,5192	-282,884	388,8295	-221,194	335,2701	295,8759	295,8759	223,7928	223,7928	295,8759	295,8759	223,7928	223,7928

Spojité hmotové zatížení pro  $m_{ZF}$ :

Spojité hmotové zatížení	*A	*G	*B+	*B-	*D+	*D-	*F	*A <sub>kr</sub> + poc	*A <sub>kr</sub> - poc	*D <sub>kr</sub> + poc	*D <sub>kr</sub> - poc	*A <sub>kr</sub> + ust	*A <sub>kr</sub> - ust	*D <sub>kr</sub> + ust	*D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]	q <sub>G</sub> [N/m]
7,5	177,6931	-88,8466	194,1214	-127,067	180,3753	-113,321	134,108	213,0345	23,66618	224,5134	-45,4792	118,3503	118,3503	89,51711	89,51711
7,474	179,3085	-89,6543	195,8861	-128,223	182,0151	-114,351	135,3272	214,64	24,21255	226,0822	-45,4204	119,4263	119,4263	90,3309	90,3309
7,398	183,7509	-91,8754	200,7392	-131,399	186,5245	-117,185	138,6799	218,9654	25,80458	230,2687	-45,1311	122,385	122,385	92,56883	92,56883
7,271	191,424	-95,712	209,1217	-136,886	194,3134	-122,078	144,4709	226,3818	28,60935	237,4218	-44,5531	127,4956	127,4956	96,43434	96,43434
7,094	201,924	-100,962	220,5925	-144,395	204,9719	-128,774	152,3955	236,2602	32,71789	246,8246	-43,3766	134,489	134,489	101,724	101,724
6,868	215,251	-107,626	235,1516	-153,925	218,5001	-137,273	162,4536	248,3971	38,33347	258,1873	-41,3117	143,3653	143,3653	108,4378	108,4378
6,596	231,4049	-115,702	252,799	-165,476	234,8978	-147,575	174,6452	262,5667	45,68213	271,1877	-38,0363	154,1244	154,1244	116,5757	116,5757
6,279	249,9819	-124,991	273,0935	-178,761	253,7553	-159,422	188,6656	278,0153	54,97952	284,9313	-33,0627	166,4974	166,4974	125,9343	125,9343
5,919	271,3859	-135,693	296,4763	-194,067	275,4823	-173,073	204,8195	294,8783	66,62819	299,4313	-25,9972	180,7532	180,7532	136,717	136,717
5,518	295,2129	-147,606	322,5062	-211,105	299,669	-188,268	222,8022	312,3574	80,88855	313,7292	-16,2883	196,623	196,623	148,7205	148,7205
5,08	321,0592	-160,53	350,742	-229,588	325,9054	-204,751	242,3088	329,7137	97,96134	326,9521	-3,46978	213,8375	213,8375	161,7411	161,7411
4,607	348,9247	-174,462	381,1838	-249,514	354,1915	-222,522	263,3394	346,6047	118,1893	338,6111	12,94701	232,397	232,397	175,7791	175,7791
4,102	363,0594	-181,53	396,6253	-259,622	368,5395	-231,536	274,0071	347,6193	136,0032	333,756	32,0435	241,8113	241,8113	182,8997	182,8997
3,57	373,5595	-186,78	408,0961	-267,13	379,1981	-238,232	281,9317	343,5534	154,056	323,2777	53,10104	248,8047	248,8047	188,1894	188,1894
3,013	384,8672	-192,434	420,4493	-275,216	390,6765	-245,444	290,4658	338,7225	173,9497	311,3486	76,42323	256,3361	256,3361	193,8859	193,8859
2,435	396,1749	-198,087	432,8024	-283,302	402,1549	-252,655	299	332,4055	195,3295	297,3008	101,8642	263,8675	263,8675	199,5825	199,5825
1,841	407,8865	-203,943	445,5968	-291,677	414,0433	-260,124	307,8389	325,0183	218,3173	281,5472	129,4178	271,6678	271,6678	205,4825	205,4825
1,234	420,002	-210,001	458,8324	-300,341	426,3416	-267,85	316,9826	316,5596	242,9148	264,0856	159,0863	279,7372	279,7372	211,5859	211,5859
0,619	432,1174	-216,059	472,0679	-309,005	438,6399	-275,577	326,1264	306,8102	268,8028	244,7839	190,5948	287,8065	287,8065	217,6893	217,6893
0	444,2329	-222,116	485,3034	-317,668	450,9383	-283,303	335,2701	295,8759	295,8759	223,7928	223,7928	295,8759	295,8759	223,7928	223,7928

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

## Příloha 4

Posouvající síla od aerodynamického zatížení pro  $m_{TOW}$ :

Posouvající síla od aerodynamického zatížení	A	G	B+	B-	D+	D-	F	A <sub>kr</sub> + poc	A <sub>kr</sub> - poc	D <sub>kr</sub> + poc	D <sub>kr</sub> - poc	A <sub>kr</sub> + ust	A <sub>kr</sub> - ust	D <sub>kr</sub> + ust	D <sub>kr</sub> - ust
y[m]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	4,291598	-2,7083	4,315496	-3,73079	2,556097	-4,13408	2,783665	4,354143	0,769485	2,585362	-1,4362	1,336336	3,787292	-0,81834	1,967504
7,398	39,29453	-24,7143	39,52779	-34,021	23,58904	-37,5639	26,72542	42,44588	3,155562	26,83172	-17,4189	14,98842	30,61301	-4,14214	13,55494
7,271	127,0816	-79,4694	127,9156	-109,262	77,30776	-119,896	92,07671	149,0426	-7,28767	101,2515	-75,2271	61,2423	80,51267	2,207337	23,817
7,094	281,5844	-174,646	283,6821	-239,701	174,4968	-260,676	212,7168	348,2685	-42,2177	247,7837	-192,973	156,9111	149,1397	31,90149	22,90971
6,868	513,7207	-315,2	518,1413	-431,605	325,9555	-463,721	395,4419	649,9507	-96,6604	475,9548	-366,769	308,3952	244,895	90,58416	18,60196
6,596	832,2965	-503,911	840,63	-688,005	543,0975	-727,902	646,5297	1063,006	-167,575	797,4733	-591,475	524,5835	370,8482	189,9822	16,01632
6,279	1249,232	-744,54	1263,787	-1012,99	841,3825	-1051,67	974,7562	1599,792	-250,766	1227,923	-859,984	817,9824	531,044	345,8241	22,11427
5,919	1776,949	-1040,16	1800,931	-1409,43	1238,792	-1430,49	1389,231	2271,703	-338,936	1784,72	-1161,12	1202,16	730,6065	577,9606	45,64242
5,518	2429,144	-1393,76	2466,814	-1879,8	1756,051	-1857,98	1899,967	3088,355	-419,83	2483,459	-1475,37	1690,538	977,9868	906,363	101,7236
5,08	3215,202	-1805,59	3271,857	-2422,8	2411,348	-2323,54	2513,503	4046,065	-468,831	3326,908	-1766,77	2287,481	1289,753	1342,867	217,2743
4,607	4144	-2276,43	4225,825	-3038,13	3220,692	-2819	3236,017	5115,245	-423,353	4289,481	-1959,7	2972,844	1719,048	1872,395	457,3897
4,102	5207,539	-2804,03	5320,189	-3723,48	4173,107	-3346,34	4061,187	6151,903	-81,9132	5205,071	-1828,75	3617,908	2452,081	2346,191	1030,132
3,57	6383,014	-3382,74	6530,497	-4473,6	5235,56	-3913,92	4971,505	7108,918	580,6251	6014,922	-1352,34	4194,856	3494,687	2727,269	1935,316
3,013	7661,109	-4011,12	7846,615	-5287,79	6392,673	-4528,07	5959,239	8088,315	1391,419	6831,601	-730,372	4820,125	4659,609	3144,418	2956,811
2,435	9031,681	-4685,46	9257,875	-6161,73	7632,389	-5188,41	7015,096	9109,347	2304,08	7670,249	-15,1709	5527,09	5886,337	3628,879	4026,199
1,841	10481,61	-5400,11	10750,63	-7088,37	8941,098	-5891,33	8125,815	10171,48	3294,56	8531,882	768,08	6328,711	7137,334	4196,72	5103,242
1,234	12002,18	-6151,22	12315,83	-8062,87	10309,92	-6634,17	9276,891	11273,02	4349,714	9417,892	1603,032	7234,077	8388,66	4861,513	6159,411
0,619	13576,87	-6930,81	13936,42	-9074,99	11723,55	-7409,54	10424,32	12404,16	5454,285	10319,29	2475,843	8243,033	9615,408	5625,289	7169,848
0	15185,69	-7728,79	15591,89	-10111,5	13164,53	-8206,85	11491,43	13550,4	6591,854	11227,02	3375,18	9347,708	10794,55	6486,24	8115,961

Posouvající síla od aerodynamického zatížení pro  $m_{ZFW}$ :

Posouvající síla od aerodynamického zatížení	*A	*G	*B+	*B-	*D+	*D-	*F	*A <sub>kr</sub> + poc	*A <sub>kr</sub> - poc	*D <sub>kr</sub> + poc	*D <sub>kr</sub> - poc	*A <sub>kr</sub> + ust	*A <sub>kr</sub> - ust	*D <sub>kr</sub> + ust	*D <sub>kr</sub> - ust
y[m]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]	T <sub>A</sub> [N]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	3,397526	-2,14409	3,638506	-3,21817	2,157549	-4,11223	2,611637	3,447003	0,609232	2,082469	-1,93909	1,057976	2,998259	-1,32124	1,464611
7,398	31,10827	-19,5656	33,32555	-29,3493	19,94603	-37,3642	23,90552	33,60268	2,498752	22,23492	-22,0157	11,86616	24,23527	-8,73893	8,958142
7,271	100,6066	-62,9137	107,8371	-94,2749	65,5599	-119,252	77,27365	117,9908	-5,76708	86,42785	-90,0508	48,48424	63,73951	-12,6163	8,993381
7,094	222,9217	-138,262	239,1301	-206,873	148,5727	-259,254	171,0995	275,7093	-33,4166	215,0723	-225,684	124,2225	118,0702	-0,80995	-9,80172
6,868	406,6967	-249,535	436,7122	-372,618	278,9128	-461,143	311,8638	514,538	-76,512	416,5957	-426,128	244,1478	193,8783	31,22499	-40,7572
6,596	658,9032	-398,932	708,4104	-594,221	467,3814	-723,751	504,6912	841,5361	-132,645	701,9336	-687,014	415,2972	293,5936	94,44251	-79,5233
6,279	988,9777	-589,431	1064,82	-875,345	728,6095	-1045,49	756,518	1266,486	-198,496	1085,624	-1002,28	647,5713	420,4184	203,5254	-120,184
5,919	1406,755	-823,466	1517,092	-1218,63	1079,777	-1421,78	1074,502	1798,408	-268,287	1584,072	-1361,76	951,7118	578,4093	377,3132	-155,005
5,518	1923,076	-1103,4	2077,573	-1626,41	1540,756	-1846,18	1466,499	2444,917	-332,316	2211,795	-1747,04	1338,344	774,2567	634,6999	-169,94
5,08	2545,372	-1429,44	2754,957	-2097,77	2129,281	-2308,07	1937,743	3203,093	-371,095	2970,992	-2122,68	1810,922	1021,076	986,951	-138,642
4,607	3280,67	-1802,18	3557,399	-2632,6	2860,895	-2799,27	2493,229	4049,517	-335,078	3835,484	-2413,69	2353,499	1360,94	1418,398	3,39269
4,102	4122,64	-2219,86	4477,753	-3228,84	3725,157	-3321,79	3128,325	4870,197	-64,7635	4639,842	-2393,98	2864,177	1941,257	1780,962	464,9032
3,57	5053,223	-2678,01	5495,546	-3881,64	4690,507	-3884,04	3829,891	5627,831	459,7486	5327,165	-2040,09	3320,932	2766,648	2039,513	1247,559
3,013	6065,048	-3175,47	6602,304	-4590,23	5742,102	-4492,4	4592,631	6403,183	1101,628	6010,701	-1551,27	3815,941	3688,87	2323,518	2135,91
2,435	7150,084	-3709,33	7789,077	-5350,79	6868,628	-5146,54	5410,603	7211,498	1824,151	6706,524	-978,896	4375,626	4660,022	2665,154	3062,474
1,841	8297,948	-4275,09	9044,405	-6157,16	8057,499	-5842,89	6276,045	8052,354	2608,28	7416,944	-346,858	5010,247	5650,388	3081,782	3988,304
1,234	9501,731	-4869,72	10360,68	-7005,11	9300,53	-6578,83	7183,786	8924,403	3443,61	8144,223	329,3633	5726,997	6641,015	3587,844	4885,742
0,619	10748,36	-5486,9	11723,56	-7885,7	10583,76	-7347,05	8123,981	9819,882	4318,06	8881,081	1037,629	6525,755	7612,187	4187,076	5731,634
0	12022,01	-6118,63	13115,8	-8787,46	11891,39	-8137,06	9084,683	10727,32	5218,634	9620,558	1768,716	7400,288	8545,668	4879,776	6509,497

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

## Příloha 5

Posouvající síla od hmotového zatížení pro  $m_{TOW}$ :

Posouvající síla od hmotového zatížení	A	G	B+	B-	D+	D-	F	A <sub>kr</sub> + poc	A <sub>kr</sub> - poc	D <sub>kr</sub> + poc	D <sub>kr</sub> - poc	A <sub>kr</sub> + ust	A <sub>kr</sub> - ust	D <sub>kr</sub> + ust	D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	4,641022	-3,19618	4,706697	-2,95537	4,062208	-2,31088	3,502658	5,55984	0,622352	5,124468	-0,44842	3,091096	3,091096	2,338024	2,338024
7,398	18,43728	-12,6974	18,69818	-11,7407	16,13784	-9,18037	13,91493	22,03706	2,522791	20,30098	-1,72455	12,27992	12,27992	9,288214	9,288214
7,271	42,26088	-29,1042	42,85891	-26,9114	36,99023	-21,0427	31,89501	50,31697	5,977714	46,31253	-3,7327	28,14734	28,14734	21,28992	21,28992
7,094	77,07218	-53,078	78,16282	-49,079	67,45997	-38,3761	58,16768	91,2613	11,40466	83,89358	-6,23973	51,33298	51,33298	38,82693	38,82693
6,868	124,213	-85,5429	125,9707	-79,0979	108,7215	-61,8487	93,74563	146,0283	19,43278	134,0187	-8,86824	82,73052	82,73052	62,57521	62,57521
6,596	184,9582	-127,377	187,5755	-117,78	161,8907	-92,0952	139,5911	215,5202	30,85806	197,3901	-11,036	123,1891	123,1891	93,17704	93,17704
6,279	261,258	-179,923	264,955	-166,367	228,6747	-130,087	197,1758	301,2034	46,81192	275,1793	-11,9496	174,0077	174,0077	131,6149	131,6149
5,919	355,1042	-244,553	360,1293	-226,128	310,8167	-176,815	268,0032	404,3255	68,70013	368,3004	-10,5162	236,5128	236,5128	178,8921	178,8921
5,518	468,7073	-322,789	475,3399	-298,469	410,2515	-233,381	353,7413	526,0776	98,27589	477,5498	-5,30516	312,1767	312,1767	236,1223	236,1223
5,08	603,6709	-415,736	612,2134	-384,413	528,3829	-300,583	455,6007	666,6926	137,4425	602,7928	5,434101	402,0676	402,0676	304,1134	304,1134
4,607	762,1221	-524,858	772,9068	-485,314	667,0725	-379,479	575,1865	826,6435	188,5606	744,0355	23,83842	507,6021	507,6021	383,937	383,937
4,102	1177,395	-810,847	1194,056	-749,756	1030,553	-586,254	888,5997	1227,42	340,9583	1093,41	92,87052	784,1892	784,1892	593,1403	593,1403
3,57	1869,51	-1287,49	1895,965	-1190,49	1636,35	-930,875	1410,951	1876,974	613,3542	1654,927	228,6928	1245,164	1245,164	941,8098	941,8098
3,013	2600,223	-1790,72	2637,019	-1655,8	2275,931	-1294,71	1962,433	2534,477	929,2161	2215,844	404,0034	1731,847	1731,847	1309,924	1309,924
2,435	3365,021	-2317,42	3412,64	-2142,82	2945,346	-1675,53	2539,639	3191,812	1290,651	2768,119	622,299	2241,231	2241,231	1695,209	1695,209
1,841	4157,827	-2863,41	4216,665	-2647,67	3639,276	-2070,28	3137,983	3840,207	1698,333	3303,358	885,8492	2769,27	2769,27	2094,604	2094,604
1,234	4975,216	-3426,33	5045,62	-3168,18	4354,722	-2477,28	3754,88	4473,829	2153,534	3815,828	1196,937	3313,682	3313,682	2506,382	2506,382
0,619	5810,828	-4001,8	5893,057	-3700,29	5086,119	-2893,35	4385,531	5085,302	2655,159	4298,78	1555,904	3870,231	3870,231	2927,342	2927,342
0	6370,717	-4387,38	6460,868	-4056,82	5576,18	-3172,14	4808,088	5476,786	3009,489	4601,804	1816,994	4243,138	4243,138	3209,399	3209,399

Posouvající síla od hmotového zatížení pro  $m_{ZFW}$ :

Posouvající síla od hmotového zatížení	*A	*G	*B+	*B-	*D+	*D-	*F	*A <sub>kr</sub> + poc	*A <sub>kr</sub> - poc	*D <sub>kr</sub> + poc	*D <sub>kr</sub> - poc	*A <sub>kr</sub> + ust	*A <sub>kr</sub> - ust	*D <sub>kr</sub> + ust	*D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]	T <sub>G</sub> [N]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	4,641022	-2,32051	5,070097	-3,31877	4,711075	-2,95975	3,502658	5,559768	0,622423	5,857743	-1,18169	3,091096	3,091096	2,338024	2,338024
7,398	18,43728	-9,21864	20,14186	-13,1844	18,71558	-11,7581	13,91493	22,03677	2,523074	23,19908	-4,62265	12,27992	12,27992	9,288214	9,288214
7,271	42,26088	-21,1304	46,16802	-30,2205	42,89878	-26,9513	31,89501	50,31633	5,978359	52,89743	-10,3176	28,14734	28,14734	21,28992	21,28992
7,094	77,07218	-38,5361	84,19772	-55,1139	78,23553	-49,1517	58,16768	91,26014	11,40582	95,75323	-18,0994	51,33298	51,33298	38,82693	38,82693
6,868	124,213	-62,1065	135,6968	-88,824	126,0879	-79,2151	93,74563	146,0264	19,43462	152,8196	-27,6692	82,73052	82,73052	62,57521	62,57521
6,596	184,9582	-92,4791	202,0581	-132,263	187,75	-117,954	139,5911	215,5175	30,86075	224,8146	-38,4605	123,1891	123,1891	93,17704	93,17704
6,279	261,258	-130,629	285,412	-186,824	265,2015	-166,614	197,1758	301,1997	46,81562	312,9594	-49,7297	174,0077	174,0077	131,6149	131,6149
5,919	355,1042	-177,552	387,9346	-253,933	360,4643	-226,463	268,0032	404,3206	68,705	418,1447	-60,3605	236,5128	236,5128	178,8921	178,8921
5,518	468,7073	-234,354	512,0406	-335,17	475,7821	-298,911	353,7413	526,0713	98,28211	541,0834	-68,8387	312,1767	312,1767	236,1223	236,1223
5,08	603,6709	-301,835	659,4819	-431,682	612,7829	-384,983	455,6007	666,6849	137,4502	681,3926	-73,1657	402,0676	402,0676	304,1134	304,1134
4,607	762,1221	-381,061	832,5824	-544,989	773,6258	-486,033	575,1865	826,6342	188,5699	838,7983	-70,9244	507,6021	507,6021	383,937	383,937
4,102	941,8981	-470,949	1028,979	-673,546	956,1154	-600,682	710,8665	1001,926	252,7535	1008,571	-59,5643	627,3396	627,3396	474,5034	474,5034
3,57	1137,839	-568,919	1243,035	-813,662	1155,014	-725,641	858,7462	1185,778	329,9092	1183,342	-36,9158	757,8435	757,8435	573,2131	573,2131
3,013	1349,06	-674,53	1473,785	-964,706	1369,424	-860,344	1018,159	1375,792	421,2588	1360,085	-0,8433	898,5252	898,5252	679,621	679,621
2,435	1574,782	-787,391	1720,375	-1126,12	1598,552	-1004,29	1188,514	1569,748	527,9805	1535,985	50,68176	1048,864	1048,864	793,3334	793,3334
1,841	1813,588	-906,794	1981,259	-1296,89	1840,963	-1156,59	1368,746	1765,002	650,8336	1707,903	119,3725	1207,918	1207,918	913,6377	913,6377
1,234	2064,852	-1032,43	2255,754	-1476,56	2096,02	-1316,83	1558,379	1959,721	790,8175	1873,502	206,9335	1375,269	1375,269	1040,218	1040,218
0,619	2326,879	-1163,44	2542,005	-1663,94	2362,002	-1483,93	1756,135	2151,408	948,1707	2029,98	314,4604	1549,789	1549,789	1172,22	1172,22
0	2598,109	-1299,05	2838,312	-1857,89	2637,326	-1656,91	1960,837	2337,939	1122,939	2175,004	442,7133	1730,439	1730,439	1308,859	1308,859

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

## Příloha 6

Výsledná posouvající síla pro  $m_{TOW}$ :

Posouvající síla	A	G	B+	B-	D+	D-	F	A <sub>K+</sub> poc	A <sub>K-</sub> poc	D <sub>K+</sub> poc	D <sub>K-</sub> poc	A <sub>K+</sub> ust	A <sub>K-</sub> ust	D <sub>K+</sub> ust	D <sub>K-</sub> ust
y[m]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	-0,34942	0,487878	-0,3912	-0,77543	-1,50611	-1,8232	-0,71899	-1,2057	0,147134	-2,53911	-0,98778	-1,75476	0,696197	-3,15637	-0,37052
7,398	20,85725	-12,0169	20,82961	-22,2802	7,451199	-28,3835	12,81049	20,40882	0,632772	6,530733	-15,6944	2,7085	18,33309	-13,4304	4,266726
7,271	84,82076	-50,3652	85,05666	-82,3509	40,31753	-98,8536	60,18171	98,72568	-13,2654	54,93894	-71,4944	33,09496	52,36533	-19,0826	2,527086
7,094	204,5122	-121,568	205,5192	-190,622	107,0368	-222,299	154,5491	257,0072	-53,6224	163,8901	-186,733	105,5781	97,80667	-6,92544	-15,9172
6,868	389,5077	-229,657	392,1706	-352,507	217,234	-401,873	301,6963	503,9224	-116,093	341,9362	-357,9	225,6647	162,1645	28,00895	-43,9733
6,596	647,3383	-376,535	653,0545	-570,225	381,2068	-635,807	506,9386	847,4861	-198,433	600,0832	-580,439	401,3944	247,6591	96,80514	-77,1607
6,279	987,9739	-564,617	998,8323	-846,624	612,7078	-921,583	777,5804	1298,589	-297,578	952,7434	-848,035	643,9747	357,0363	214,2092	-109,501
5,919	1421,845	-795,609	1440,802	-1183,3	927,9758	-1253,68	1121,227	1867,377	-407,636	1416,419	-1150,6	965,6473	494,0937	399,0685	-133,25
5,518	1960,437	-1070,97	1991,474	-1581,33	1345,8	-1624,6	1546,225	2562,278	-518,106	2005,909	-1470,07	1378,362	665,8101	670,2406	-134,399
5,08	2611,531	-1389,86	2659,644	-2038,39	1882,965	-2022,95	2057,903	3379,372	-606,273	2724,115	-1772,2	1885,413	887,6851	1038,754	-86,8392
4,607	3381,877	-1751,58	3452,918	-2552,81	2553,619	-2439,52	2660,83	4288,601	-611,914	3545,445	-1983,53	2465,242	1211,446	1488,458	73,45272
4,102	4030,145	-1993,18	4126,133	-2973,72	3142,553	-2760,09	3172,587	4924,483	-422,872	4111,661	-1921,62	2833,719	1667,892	1753,051	436,992
3,57	4513,504	-2095,25	4634,532	-3283,11	3599,21	-2983,04	3560,554	5231,944	-32,7291	4359,995	-1581,03	2949,692	2249,523	1785,46	993,5058
3,013	5060,886	-2220,4	5209,596	-3631,99	4116,742	-3233,35	3996,807	5553,837	462,2033	4615,757	-1134,38	3088,278	2927,762	1834,495	1646,887
2,435	5666,66	-2368,04	5845,235	-4018,91	4687,043	-3512,88	4475,457	5917,535	1013,429	4902,13	-637,47	3285,858	3645,106	1933,67	2330,99
1,841	6323,787	-2536,7	6533,969	-4440,69	5301,822	-3821,04	4987,832	6331,278	1596,226	5228,524	-117,769	3559,441	4368,064	2102,116	3008,638
1,234	7026,967	-2724,89	7270,209	-4894,69	5955,202	-4156,88	5522,012	6799,194	2196,18	5602,064	406,0952	3920,396	5074,978	2355,13	3653,029
0,619	7766,039	-2929,01	8043,366	-5374,7	6637,434	-4516,18	6038,786	7318,854	2799,125	6020,515	919,9388	4372,802	5745,178	2697,947	4242,506
0	8814,971	-3341,41	9131,024	-6054,71	7588,352	-5034,72	6683,343	8073,613	3582,365	6625,218	1558,186	5104,57	6551,408	3276,841	4906,562

Výsledná posouvající síla pro  $m_{ZFW}$ :

Posouvající síla	*A	*G	*B+	*B-	*D+	*D-	*F	*A <sub>K+</sub> poc	*A <sub>K-</sub> poc	*D <sub>K+</sub> poc	*D <sub>K-</sub> poc	*A <sub>K+</sub> ust	*A <sub>K-</sub> ust	*D <sub>K+</sub> ust	*D <sub>K-</sub> ust
y[m]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]	T[N]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	-1,2435	0,176426	-1,43159	0,1006	-2,55353	-1,15248	-0,89102	-2,11276	-0,01319	-3,77527	-0,7574	-2,03312	-0,09284	-3,65926	-0,87341
7,398	12,67099	-10,347	13,18369	-16,1649	1,230453	-25,606	9,990591	11,56591	-0,02432	-0,96416	-17,3931	-0,41376	11,95535	-18,0271	-0,33007
7,271	58,34574	-41,7833	61,66908	-64,0544	22,66112	-92,3011	45,37864	67,67451	-11,7454	33,53042	-79,7332	20,3369	35,59217	-33,9062	-12,2965
7,094	145,8495	-99,7262	154,9324	-151,759	70,33715	-210,103	112,9318	184,4492	-44,8224	119,319	-207,585	72,88948	66,73725	-39,6369	-48,6286
6,868	282,4838	-187,428	301,0154	-283,794	152,8249	-381,928	218,1182	368,5116	-95,9466	263,7761	-398,459	161,4173	111,1477	-31,3502	-103,332
6,596	473,945	-306,453	506,3524	-461,958	279,6315	-605,797	365,1001	626,0186	-163,506	477,1191	-648,554	292,108	170,4045	1,265474	-172,7
6,279	727,7197	-458,802	779,408	-688,521	463,408	-878,874	559,3421	965,2864	-245,312	772,6646	-952,553	473,5636	246,4107	71,91057	-251,799
5,919	1051,65	-645,914	1129,157	-964,694	719,3132	-1195,31	806,4985	1394,088	-336,992	1165,928	-1301,4	715,199	341,8965	198,421	-333,897
5,518	1454,369	-869,048	1565,533	-1291,24	1064,974	-1547,27	1112,758	1918,845	-430,598	1670,712	-1678,2	1026,167	462,08	398,5775	-406,062
5,08	1941,701	-1127,6	2095,476	-1666,09	1516,498	-1923,09	1482,142	2536,408	-508,545	2289,599	-2049,52	1408,854	619,0089	682,8375	-442,755
4,607	2518,548	-1421,12	2724,817	-2087,61	2087,269	-2313,24	1918,042	3222,883	-523,648	2996,685	-2342,77	1845,897	853,3376	1034,461	-380,544
4,102	3180,741	-1748,91	3448,774	-2555,29	2769,042	-2721,11	2417,458	3868,272	-317,517	3631,271	-2334,41	2236,837	1313,918	1306,459	-9,60011
3,57	3915,385	-2109,09	4252,511	-3067,98	3535,493	-3158,4	2971,144	4442,053	129,8394	4143,823	-2003,18	2563,088	2008,804	1466,3	674,3461
3,013	4715,988	-2500,94	5128,519	-3625,52	4372,678	-3632,06	3574,472	5027,391	680,3694	4650,616	-1550,43	2917,416	2790,345	1643,897	1456,289
2,435	5575,303	-2921,94	6068,702	-4224,68	5270,076	-4142,24	4222,089	5641,75	1296,17	5170,539	-1029,58	3326,762	3611,158	1871,821	2269,14
1,841	6484,36	-3368,3	7063,146	-4860,28	6216,537	-4686,3	4907,3	6287,352	1957,446	5709,041	-466,23	3802,329	4442,47	2168,145	3074,667
1,234	7436,879	-3837,29	8104,922	-5528,54	7204,51	-5262	5625,407	6964,682	2652,792	6270,72	122,4298	4351,728	5265,746	2547,626	3845,525
0,619	8421,477	-4323,46	9181,556	-6221,76	8221,754	-5863,12	6367,846	7668,474	3369,889	6851,101	723,1687	4975,966	6062,398	3014,855	4559,414
0	9423,896	-4819,57	10277,49	-6929,57	9254,069	-6480,15	7123,846	8389,383	4095,695	7445,554	1326,003	5669,85	6815,229	3570,918	5200,639

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

## Příloha 7

Ohybový moment od aerodynamického zatížení pro  $m_{TOW}$ :

Ohybový moment od aerodynamického zatížení	A	G	B+	B-	D+	D-	F	A <sub>kr</sub> + poc	A <sub>kr</sub> - poc	D <sub>kr</sub> + poc	D <sub>kr</sub> - poc	A <sub>kr</sub> + ust	A <sub>kr</sub> - ust	D <sub>kr</sub> + ust	D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	0,055791	-0,03521	0,056101	-0,0485	0,033229	-0,05374	0,036188	0,056604	0,010003	0,03361	-0,01867	0,017372	0,049235	-0,01064	0,025578
7,398	1,712064	-1,07727	1,722146	-1,48307	1,026744	-1,63826	1,157533	1,835005	0,159155	1,151459	-0,73516	0,637713	1,356446	-0,19914	0,61543
7,271	12,27695	-7,69293	12,3548	-10,5816	7,433691	-11,637	8,701468	13,99453	-0,10323	9,284741	-6,61819	5,478364	8,412928	-0,322	2,988549
7,094	48,4439	-30,1821	48,78119	-41,4648	29,71839	-45,3176	35,67569	58,00656	-4,48446	40,17435	-30,3539	24,78494	28,73716	2,696634	7,123863
6,868	138,3134	-85,5347	139,3872	-117,322	86,2695	-127,174	104,3976	170,8053	-20,1777	121,9568	-93,6046	77,36455	73,26308	16,53751	11,81468
6,596	321,3717	-196,934	324,1801	-269,589	204,4607	-289,235	246,1058	403,7675	-56,1136	295,143	-223,926	190,6497	157,0042	54,69453	16,52277
6,279	651,294	-394,813	657,7303	-539,197	423,9008	-571,297	503,0796	825,821	-122,421	616,1683	-453,982	403,4464	299,9541	139,6198	22,56647
5,919	1196,007	-716,06	1209,38	-975,233	798,3323	-1018,09	928,5972	1522,69	-228,567	1158,444	-817,78	767,072	527,0511	305,9011	34,76267
5,518	2039,328	-1204,06	2065,063	-1634,72	1398,798	-1677,43	1588,081	2597,382	-380,7	2014,214	-1346,4	1347,058	869,6241	603,508	64,30955
5,08	3275,44	-1904,72	3321,832	-2576,99	2311,459	-2593,18	2554,631	4159,82	-575,316	3286,684	-2056,42	2218,244	1366,259	1096,089	134,1701
4,607	5015,891	-2870,12	5095,033	-3868,5	3643,437	-3809,39	3914,393	6326,469	-786,318	5087,96	-2937,73	3462,311	2077,84	1856,499	293,7281
4,102	7377,155	-4152,94	7505,402	-5575,81	5510,371	-5366,14	5756,937	9171,424	-913,898	7485,334	-3894,32	5126,476	3131,051	2921,692	669,3274
3,57	10460,24	-5798,62	10657,68	-7756,23	8013,076	-7297,37	8159,633	12698,8	-781,24	10469,85	-4740,48	7204,672	4712,891	4271,232	1458,136
3,013	14371,53	-7857,81	14661,71	-10474,8	11251,54	-9648,46	11203,84	16931,23	-232,026	14047,61	-5320,52	9715,344	6983,863	5906,497	2820,594
2,435	19195,75	-10371,1	19604,91	-13783,7	15304,78	-12456,5	14953,43	21901,36	835,9735	18238,64	-5535,98	12705,69	10031,64	7863,98	4838,683
1,841	24991,2	-13366,5	25547,43	-17719	20227,11	-15747,2	19450,28	27627,76	2498,769	23050,68	-5312,37	16226,86	13899,67	10188,18	7550,127
1,234	31815,03	-16872,4	32548,11	-22317,4	26069,79	-19548,7	24732	34136,17	4818,807	28498,43	-4592,73	20343,17	18611,81	12937,36	10968,34
0,619	39680,59	-20895,1	40620,67	-27587,3	32845,09	-23867,1	30790,12	41416,9	7833,536	34567,62	-3338,48	25102,38	24148,06	16162,05	15067,09
0	48582,6	-25432,2	49759,69	-33525,5	40547,95	-28700,4	37573,05	49449,84	11561,82	41236,2	-1527,59	30546,71	30464,94	19910,57	19798,05

Ohybový moment od aerodynamického zatížení pro  $m_{ZFW}$ :

Ohybový moment od aerodynamického zatížení	*A	*G	*B+	*B-	*D+	*D-	*F	*A <sub>kr</sub> + poc	*A <sub>kr</sub> - poc	*D <sub>kr</sub> + poc	*D <sub>kr</sub> - poc	*A <sub>kr</sub> + ust	*A <sub>kr</sub> - ust	*D <sub>kr</sub> + ust	*D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]	M <sub>OA</sub> [Nm]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	0,044168	-0,02787	0,047301	-0,04184	0,028048	-0,05346	0,033951	0,044811	0,00792	0,027072	-0,02521	0,013754	0,038977	-0,01718	0,01904
7,398	1,355388	-0,85284	1,451935	-1,2794	0,867984	-1,62956	1,041603	1,452699	0,126023	0,951133	-0,93549	0,504871	1,073851	-0,39946	0,415105
7,271	9,719284	-6,09028	10,41576	-9,12954	6,297611	-11,5747	7,46648	11,07889	-0,08152	7,851218	-8,05171	4,337122	6,66025	-1,75552	1,555026
7,094	38,35154	-23,8944	41,12236	-35,7811	25,24834	-45,0726	29,4475	45,92135	-3,54927	34,53398	-35,9942	19,62167	22,75041	-2,94374	1,483488
6,868	109,4984	-67,7154	117,4925	-101,263	73,5542	-126,477	84,02236	135,2193	-15,9712	105,9125	-109,649	61,2475	58,00059	0,49316	-4,22967
6,596	254,42	-155,907	273,2292	-232,754	175,0502	-287,623	195,0738	319,6454	-44,4166	258,0324	-261,036	150,932	124,2968	17,58394	-20,5878
6,279	515,6091	-312,563	554,2862	-465,68	364,6148	-568,047	394,9755	653,7669	-96,9026	541,3603	-528,79	319,3967	237,4677	64,81186	-52,2415
5,919	946,841	-566,884	1019,03	-842,595	690,1244	-1012,15	724,559	1205,448	-180,924	1021,906	-954,318	607,2676	417,2566	169,3628	-101,776
5,518	1614,472	-953,221	1739,761	-1413,02	1215,541	-1667,38	1234,03	2056,235	-301,345	1782,977	-1577,63	1066,424	688,4662	372,2714	-166,927
5,08	2593,062	-1507,91	2798,085	-2228,62	2019,28	-2577,16	1979,559	3293,149	-455,392	2918,008	-2425,1	1756,113	1081,644	727,413	-234,506
4,607	3970,921	-2272,19	4290,957	-3347,35	3199,456	-3785,05	3027,484	5008,391	-622,402	4527,739	-3497,95	2740,998	1644,991	1296,278	-266,493
4,102	5840,257	-3287,76	6319,833	-4827,36	4862,434	-5330,62	4446,926	7260,619	-723,362	6667,759	-4711,89	4058,462	2478,796	2104,116	-148,248
3,57	8281,037	-4590,59	8972,731	-6718,75	7101,001	-7247,37	6297,811	10053,09	-618,296	9318,983	-5891,35	5703,701	3731,098	3120,363	307,2669
3,013	11377,48	-6220,78	12341,98	-9078,17	10006,48	-9580,21	8643,483	13403,73	-183,452	12476,58	-6891,55	7691,32	5528,96	4335,467	1249,563
2,435	15196,65	-8210,49	16501,09	-11951,1	13650,98	-12365,9	11534,42	17338,37	662,0979	16151,86	-7622,77	10058,68	7941,79	5777,193	2751,896
1,841	19784,71	-10581,9	21500,64	-15369	18084,04	-15629,7	15005,35	21871,74	1978,53	20346,53	-8016,52	12846,29	11003,98	7484,033	4845,977
1,234	25186,92	-13357,3	27390,08	-19363,7	23352,21	-19399,7	19090,41	27024,18	3815,278	25069,34	-8021,83	16105,04	14734,42	9508,265	7539,25
0,619	31413,82	-16542	34180,98	-23942,7	29466,62	-23681,9	23797,55	32788,05	6201,992	30304,62	-7601,48	19872,76	19117,28	11899,05	10804,09
0	38461,25	-20133,9	41868,76	-29103	36422,68	-28474,3	29123,63	39147,41	9153,599	36030,88	-6732,91	24182,87	24118,14	14705,24	14592,72

## Příloha 8

Ohybový moment od hmotového zatížení pro  $m_{TOW}$ :

Ohybový moment od hmotového zatížení	A	G	B+	B-	D+	D-	F	A <sub>kr</sub> + poc	A <sub>kr</sub> - poc	D <sub>kr</sub> + poc	D <sub>kr</sub> - poc	A <sub>kr</sub> + ust	A <sub>kr</sub> - ust	D <sub>kr</sub> + ust	D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	0,060333	-0,04155	0,061187	-0,03842	0,052809	-0,03004	0,045535	0,072278	0,008091	0,066618	-0,00583	0,040184	0,040184	0,030394	0,030394
7,398	0,937309	-0,64551	0,950573	-0,59687	0,82041	-0,46671	0,707403	1,12096	0,127606	1,032785	-0,0884	0,624283	0,624283	0,472191	0,472191
7,271	4,791642	-3,2999	4,859448	-3,05128	4,194043	-2,38588	3,616334	5,715441	0,667388	5,262743	-0,43494	3,191414	3,191414	2,413903	2,413903
7,094	15,35262	-10,573	15,56987	-9,77643	13,43789	-7,64445	11,58688	18,24512	2,205728	16,78598	-1,3175	10,22542	10,22542	7,734243	7,734243
6,868	38,09784	-26,2372	38,63696	-24,2604	33,34639	-18,9698	28,75309	45,05884	5,690359	41,41007	-3,0247	25,3746	25,3746	19,19268	19,19268
6,596	80,14511	-55,1943	81,27924	-51,0358	70,14966	-39,9062	60,48688	94,22942	12,52991	86,48166	-5,73167	53,37967	53,37967	40,37499	40,37499
6,279	150,8704	-103,901	153,0053	-96,0731	132,0543	-75,1221	113,8644	176,1301	24,84061	161,3839	-9,37489	100,4854	100,4854	76,00451	76,00451
5,919	261,8156	-180,307	265,5205	-166,722	229,1627	-130,364	197,5967	303,1253	45,63277	277,2103	-13,4187	174,379	174,379	131,8958	131,8958
5,518	426,9898	-294,059	433,0321	-271,904	373,7369	-212,609	322,2564	489,6711	79,11147	446,8032	-16,5909	284,3913	284,3913	215,1062	215,1062
5,08	661,8406	-455,796	671,2062	-421,455	579,2978	-329,547	499,5023	750,8878	130,7338	683,3983	-16,5627	440,8108	440,8108	333,4178	333,4178
4,607	984,8506	-678,246	998,7872	-627,145	862,023	-490,381	743,2835	1104,062	207,8335	1001,923	-9,63971	655,9477	655,9477	496,1417	496,1417
4,102	1474,579	-1015,51	1495,445	-939	1290,674	-734,229	1112,889	1622,713	341,5371	1465,878	19,8293	982,125	982,125	742,8537	742,8537
3,57	2285,055	-1573,67	2317,391	-1455,11	2000,07	-1137,79	1724,57	2448,482	595,3842	2196,936	105,3651	1521,933	1521,933	1151,15	1151,15
3,013	3529,876	-2430,95	3579,827	-2247,8	3089,64	-1757,61	2664,057	3677,071	1024,99	3274,945	281,5711	2351,031	2351,031	1778,258	1778,258
2,435	5253,832	-3618,2	5328,178	-3345,6	4598,59	-2616,01	3965,156	5331,969	1666,531	4715,311	578,1725	3499,25	3499,25	2646,742	2646,742
1,841	7488,118	-5156,91	7594,082	-4768,38	6554,222	-3728,52	5651,41	7420,478	2554,26	6518,539	1026,092	4987,369	4987,369	3772,316	3772,316
1,234	10260	-7065,85	10405,18	-6533,49	8980,401	-5108,7	7743,393	9943,788	3723,301	8679,212	1658,218	6833,545	6833,545	5168,715	5168,715
0,619	13576,7	-9349,99	13768,83	-8645,54	11883,46	-6760,17	10246,57	12883,22	5201,975	11174,45	2504,717	9042,598	9042,598	6839,585	6839,585
0	17346,89	-11946,4	17592,37	-11046,4	15183,44	-8637,44	13091,99	16152,19	6955,183	13929,18	3548,628	11553,69	11553,69	8738,906	8738,906

Ohybový moment od hmotového zatížení pro  $m_{ZFW}$ :

Ohybový moment od hmotového zatížení	*A	*G	*B+	*B-	*D+	*D-	*F	*A <sub>kr</sub> + poc	*A <sub>kr</sub> - poc	*D <sub>kr</sub> + poc	*D <sub>kr</sub> - poc	*A <sub>kr</sub> + ust	*A <sub>kr</sub> - ust	*D <sub>kr</sub> + ust	*D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]	M <sub>OG</sub> [Nm]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	0,060333	-0,03017	0,065911	-0,04314	0,061244	-0,03848	0,045535	0,072277	0,008092	0,076151	-0,01536	0,040184	0,040184	0,030394	0,030394
7,398	0,937309	-0,46865	1,023966	-0,67026	0,951457	-0,59776	0,707403	1,120946	0,12762	1,18031	-0,23593	0,624283	0,624283	0,472191	0,472191
7,271	4,791642	-2,39582	5,234643	-3,42648	4,863969	-3,0558	3,616334	5,715367	0,667461	6,012438	-1,18463	3,191414	3,191414	2,413903	2,413903
7,094	15,35262	-7,67631	16,77201	-10,9786	15,58436	-9,79091	11,58688	18,24488	2,205961	19,16802	-3,69953	10,22542	10,22542	7,734243	7,734243
6,868	38,09784	-19,0489	41,62009	-27,2435	38,6729	-24,2964	28,75309	45,05827	5,690931	47,25675	-8,87138	25,3746	25,3746	19,19268	19,19268
6,596	80,14511	-40,0726	87,55476	-57,3113	81,35485	-51,1114	60,48688	94,22824	12,5311	98,61499	-17,865	53,37967	53,37967	40,37499	40,37499
6,279	150,8704	-75,4352	164,8188	-107,887	153,1477	-96,2154	113,8644	176,1279	24,8428	183,8522	-31,8431	100,4854	100,4854	76,00451	76,00451
5,919	261,8156	-130,908	286,0212	-187,223	265,7675	-166,969	197,5967	303,1216	45,63652	315,4509	-51,6594	174,379	174,379	131,8958	131,8958
5,518	426,9898	-213,495	466,4662	-305,338	433,4349	-272,307	322,2564	489,6652	79,11743	507,7761	-77,5638	284,3913	284,3913	215,1062	215,1062
5,08	661,8406	-330,92	723,0296	-473,278	671,8306	-422,079	499,5023	750,8788	130,7428	775,4984	-108,663	440,8108	440,8108	333,4178	333,4178
4,607	984,8506	-492,425	1075,903	-704,261	999,7163	-628,075	743,2835	1104,049	207,8466	1135,024	-142,74	655,9477	655,9477	496,1417	496,1417
4,102	1415,116	-707,558	1545,947	-1011,94	1436,476	-902,47	1068,012	1565,76	319,2807	1601,484	-175,688	942,5204	942,5204	712,8979	712,8979
3,57	1968,326	-984,163	2150,303	-1407,54	1998,036	-1255,27	1485,529	2147,689	474,269	2184,533	-201,352	1310,979	1310,979	991,5905	991,5905
3,013	2660,927	-1330,46	2906,937	-1902,81	2701,092	-1696,97	2008,247	2861,086	683,4693	2892,878	-211,868	1772,278	1772,278	1340,505	1340,505
2,435	3505,917	-1752,96	3830,049	-2507,06	3558,837	-2235,85	2645,975	3712,347	957,7995	3729,842	-197,465	2335,073	2335,073	1766,189	1766,189
1,841	4512,263	-2256,13	4929,435	-3226,69	4580,373	-2877,63	3405,482	4702,768	1307,907	4693,277	-146,959	3005,338	3005,338	2273,159	2273,159
1,234	5689,37	-2844,68	6215,368	-4068,44	5775,247	-3628,32	4293,864	5833,222	1745,448	5780,233	-47,9248	3789,335	3789,335	2866,154	2866,154
0,619	7039,827	-3519,91	7690,679	-5034,14	7146,089	-4489,55	5313,077	7097,394	2280,187	6980,554	112,4038	4688,79	4688,79	3546,479	3546,479
0	8564,111	-4282,06	9355,887	-6124,15	8693,38	-5461,64	6463,48	8486,846	2921,196	8281,997	346,7491	5704,021	5704,021	4314,373	4314,373

## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

## Příloha 9

Výsledný ohybový moment pro  $m_{TOW}$ :

Ohybový moment	A	G	B+	B-	D+	D-	F	A <sub>kr</sub> + poc	A <sub>kr</sub> - poc	D <sub>kr</sub> + poc	D <sub>kr</sub> - poc	A <sub>kr</sub> + ust	A <sub>kr</sub> - ust	D <sub>kr</sub> + ust	D <sub>kr</sub> - ust
y[m]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	-0,00454	0,006342	-0,00509	-0,01008	-0,01958	-0,0237	-0,00935	-0,01567	0,001913	-0,03301	-0,01284	-0,02281	0,009051	-0,04103	-0,00482
7,398	0,774755	-0,43176	0,771574	-0,8862	0,206334	-1,17156	0,45013	0,714045	0,031549	0,118673	-0,64676	0,01343	0,732163	-0,67133	0,143239
7,271	7,485308	-4,39303	7,495352	-7,53028	3,239648	-9,25111	5,085135	8,279085	-0,77062	4,021998	-6,18325	2,28695	5,221513	-2,7359	0,574646
7,094	33,09128	-19,6091	33,21132	-31,6884	16,28051	-37,6732	24,08881	39,76144	-6,69019	23,38837	-29,0364	14,55952	18,51174	-5,03761	-0,61038
6,868	100,2155	-59,2975	100,7503	-93,062	52,92311	-108,205	75,64453	125,7465	-25,868	80,54674	-90,5799	51,98996	47,88848	-2,65517	-7,378
6,596	241,2266	-141,74	242,9009	-218,554	134,3111	-249,329	185,6189	309,538	-68,6436	208,6614	-218,194	137,27	103,6245	14,31954	-23,8522
6,279	500,4236	-290,912	504,725	-443,124	291,8465	-496,175	389,2151	649,6909	-147,261	454,7844	-444,607	302,961	199,4687	63,61532	-53,438
5,919	934,191	-535,753	943,8591	-808,511	569,1696	-887,723	731,0005	1219,565	-274,2	881,2337	-804,361	592,693	352,6721	174,0053	-97,1331
5,518	1612,339	-910,003	1632,03	-1362,82	1025,062	-1464,82	1265,825	2107,711	-459,811	1567,41	-1329,81	1062,667	585,2328	388,4018	-150,797
5,08	2613,6	-1448,93	2650,625	-2155,54	1732,161	-2263,63	2055,129	3408,932	-706,05	2603,286	-2039,86	1777,434	925,4483	762,6716	-199,248
4,607	4031,041	-2191,88	4096,246	-3241,36	2781,414	-3319,01	3171,109	5222,408	-994,151	4086,037	-2928,09	2806,364	1421,893	1360,357	-202,414
4,102	5902,576	-3137,43	6009,956	-4636,8	4219,697	-4631,91	4644,047	7548,711	-1255,43	6019,456	-3914,14	4144,351	2148,926	2178,838	-73,5263
3,57	8175,187	-4224,95	8340,293	-6301,12	6013,006	-6159,58	6435,063	10250,32	-1376,62	8272,917	-4845,85	5682,739	3190,958	3120,082	306,9861
3,013	10841,65	-5426,86	11081,88	-8226,98	8161,899	-7890,85	8539,788	13254,16	-1257,02	10772,66	-5602,09	7364,313	4632,832	4128,239	1042,335
2,435	13941,92	-6752,91	14276,73	-10438,1	10706,19	-9840,51	10988,27	16569,39	-830,558	13523,33	-6114,15	9206,439	6532,391	5217,239	2191,942
1,841	17503,08	-8209,62	17953,35	-12950,6	13672,89	-12018,7	13798,87	20207,29	-55,4902	16532,14	-6338,46	11239,49	8912,302	6415,867	3777,811
1,234	21555,03	-9806,52	22142,92	-15783,9	17089,39	-14440	16988,61	24192,38	1095,505	19819,22	-6250,95	13509,62	11778,27	7768,642	5799,627
0,619	26103,88	-11545,1	26851,85	-18941,7	20961,63	-17107	20543,55	28533,68	2631,562	23393,16	-5843,2	16059,78	15105,46	9322,463	8227,504
0	31235,7	-13485,8	32167,32	-22479,1	25364,51	-20063	24481,05	33297,65	4606,633	27307,02	-5076,22	18993,03	18911,26	11171,66	11059,14

Výsledný ohybový moment pro  $m_{ZF}$ :

Ohybový moment	*A	*G	*B+	*B-	*D+	*D-	*F	*A <sub>kr</sub> + poc	*A <sub>kr</sub> - poc	*D <sub>kr</sub> + poc	*D <sub>kr</sub> - poc	*A <sub>kr</sub> + ust	*A <sub>kr</sub> - ust	*D <sub>kr</sub> + ust	*D <sub>kr</sub> - ust
y[m]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]	Mo[Nm]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	-0,01617	0,002294	-0,01861	0,001308	-0,0332	-0,01498	-0,01158	-0,02747	-0,00017	-0,04908	-0,00985	-0,02643	-0,00121	-0,04757	-0,01135
7,398	0,418079	-0,38419	0,427969	-0,60914	-0,08347	-1,03181	0,3342	0,331753	-0,0016	-0,22918	-0,69956	-0,11941	0,449569	-0,87165	-0,05709
7,271	4,927642	-3,69446	5,18112	-5,70306	1,433642	-8,51891	3,850147	5,36352	-0,74898	1,83878	-6,86708	1,145707	3,468836	-4,16942	-0,85888
7,094	22,99892	-16,2181	24,35035	-24,8025	9,663989	-35,2816	17,86062	27,67646	-5,75523	15,36596	-32,2947	9,396242	12,52499	-10,678	-6,25075
6,868	71,40058	-48,6665	75,87245	-74,0199	34,8813	-102,181	55,26927	90,16102	-21,6621	58,65571	-100,778	35,8729	32,62599	-18,6995	-23,4224
6,596	174,2749	-115,834	185,6745	-175,442	93,69537	-236,512	134,587	225,4171	-56,9477	159,4174	-243,171	97,55234	70,9171	-22,791	-60,9628
6,279	364,7388	-237,127	389,4675	-357,793	211,4671	-471,832	281,1111	477,639	-121,745	357,5082	-496,947	218,9113	136,9823	-11,1926	-128,246
5,919	685,0254	-435,976	733,0093	-655,372	424,3569	-845,186	526,9624	902,3263	-226,56	706,4547	-902,659	432,8886	242,8776	37,46704	-233,671
5,518	1187,482	-739,726	1273,295	-1107,69	782,1065	-1395,07	911,7733	1566,569	-380,462	1275,201	-1500,07	782,0324	404,0749	157,1653	-382,033
5,08	1931,222	-1176,99	2075,055	-1755,34	1347,449	-2155,08	1480,056	2542,27	-586,134	2142,509	-2316,44	1315,302	640,8334	393,9952	-567,924
4,607	2986,071	-1779,76	3215,055	-2643,09	2199,74	-3156,98	2284,2	3904,342	-830,248	3392,715	-3355,21	2085,051	989,0433	800,1362	-762,635
4,102	4425,141	-2580,2	4773,886	-3815,42	3425,959	-4428,15	3378,914	5694,859	-1042,64	5066,274	-4536,2	3115,941	1536,275	1391,218	-861,146
3,57	6312,711	-3606,43	6822,428	-5311,21	5102,965	-5992,1	4812,282	7905,405	-1092,56	7134,45	-5690	4392,721	2420,119	2128,772	-684,324
3,013	8716,548	-4890,32	9435,045	-7175,35	7305,391	-7883,24	6635,237	10542,65	-866,922	9583,701	-6679,68	5919,042	3756,682	2994,962	-90,9416
2,435	11690,73	-6457,53	12671,04	-9444,06	10092,15	-10130	8888,443	13626,03	-295,702	12422,01	-7425,3	7723,609	5606,716	4011,004	985,7075
1,841	15272,45	-8325,73	16571,2	-12142,3	13503,67	-12752,1	11599,87	17168,97	670,6227	15653,25	-7869,56	9840,949	7998,644	5210,874	2572,818
1,234	19497,55	-10512,6	21174,71	-15295,3	17576,96	-15771,4	14796,55	21190,96	2069,83	19289,11	-7973,9	12315,71	10945,09	6642,11	4673,096
0,619	24373,99	-13022,1	26490,3	-18908,5	22320,53	-19192,4	18484,47	25690,66	3921,805	23324,07	-7713,88	15183,97	14428,49	8352,573	7257,615
0	29897,13	-15851,8	32512,88	-22978,9	27729,3	-23012,6	22660,15	30660,57	6232,403	27748,88	-7079,66	18478,85	18414,12	10390,87	10278,35



## Příloha 10

Krouticí moment od aerodynamického zatížení pro  $m_{TOW}$ :

krouticí moment od aerodynamick ého zatížení	A	G	B+	B-	D+	D-	F	A <sub>kr</sub> + poc	A <sub>kr</sub> - poc	D <sub>kr</sub> + poc	D <sub>kr</sub> - poc	A <sub>kr</sub> + ust	A <sub>kr</sub> - ust	D <sub>kr</sub> + ust	D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	-0,9882	-0,61759	-1,20898	-1,20898	-3,34608	-3,34608	-0,62357	-0,9882	-0,9882	-3,34608	-3,34608	-0,9882	-0,9882	-3,34608	-3,34608
7,398	-3,97602	-2,48488	-4,86434	-4,86434	-13,463	-13,463	-3,47471	-5,97739	-1,57731	-15,7551	-10,2739	-5,97739	-1,57731	-15,7551	-10,2739
7,271	-9,30904	-5,81784	-11,3889	-11,3889	-31,5208	-31,5208	-10,2052	-18,2844	1,448154	-41,8001	-17,2192	-18,2844	1,448154	-41,8001	-17,2192
7,094	-17,4816	-10,9254	-21,3873	-21,3873	-59,1934	-59,1934	-20,5193	-37,1441	6,084501	-81,7125	-27,8625	-37,1441	6,084501	-81,7125	-27,8625
6,868	-29,2227	-18,2632	-35,7516	-35,7516	-98,9493	-98,9493	-35,3371	-64,2389	12,74532	-139,053	-43,1533	-64,2389	12,74532	-139,053	-43,1533
6,596	-45,426	-28,3897	-55,5751	-55,5751	-153,814	-153,814	-55,7864	-101,631	21,93757	-218,185	-64,2552	-101,631	21,93757	-218,185	-64,2552
6,279	-67,3649	-42,1008	-82,4156	-82,4156	-228,1	-228,1	-83,4743	-152,259	34,38368	-325,328	-92,8268	-152,259	34,38368	-325,328	-92,8268
5,919	-96,5958	-60,3691	-118,177	-118,177	-327,078	-327,078	-120,365	-219,715	50,96662	-468,084	-130,895	-219,715	50,96662	-468,084	-130,895
5,518	-135,054	-84,4039	-165,227	-165,227	-457,297	-457,297	-168,9	-308,464	72,78399	-655,901	-180,979	-308,464	72,78399	-655,901	-180,979
5,08	-184,747	-115,461	-226,024	-226,024	-625,563	-625,563	-231,616	-423,142	100,9757	-898,592	-245,697	-423,142	100,9757	-898,592	-245,697
4,607	-248,173	-155,099	-303,619	-303,619	-840,323	-840,323	-311,662	-569,508	136,9573	-1208,34	-328,297	-569,508	136,9573	-1208,34	-328,297
4,102	-324,543	-202,828	-397,052	-397,052	-1098,92	-1098,92	-408,044	-693,831	118,0596	-1521,85	-510,481	-693,831	118,0596	-1521,85	-510,481
3,57	-410,643	-256,638	-502,39	-502,39	-1390,46	-1390,46	-516,707	-779,931	31,95895	-1813,39	-802,021	-779,931	31,95895	-1813,39	-802,021
3,013	-506,209	-316,363	-619,306	-619,306	-1714,04	-1714,04	-637,314	-875,496	-63,6062	-2136,98	-1125,61	-875,496	-63,6062	-2136,98	-1125,61
2,435	-611,378	-382,09	-747,972	-747,972	-2070,15	-2070,15	-770,043	-980,666	-168,775	-2493,09	-1481,72	-980,666	-168,775	-2493,09	-1481,72
1,841	-725,923	-453,677	-888,109	-888,109	-2458,01	-2458,01	-914,604	-1095,21	-283,321	-2880,95	-1869,57	-1095,21	-283,321	-2880,95	-1869,57
1,234	-850,016	-531,231	-1039,93	-1039,93	-2878,19	-2878,19	-1071,21	-1219,3	-407,413	-3301,13	-2289,76	-1219,3	-407,413	-3301,13	-2289,76
0,619	-983,21	-614,473	-1202,88	-1202,88	-3329,19	-3329,19	-1239,31	-1352,5	-540,607	-3752,13	-2740,76	-1352,5	-540,607	-3752,13	-2740,76
0	-1125	-703,088	-1376,35	-1376,35	-3809,3	-3809,3	-1372,28	-1494,29	-682,399	-4232,24	-3220,87	-1494,29	-682,399	-4232,24	-3220,87

Krouticí moment od aerodynamického zatížení pro  $m_{ZFW}$ :

krouticí moment od aerodynamick ého zatížení	*A	*G	*B+	*B-	*D+	*D-	*F	*A <sub>kr</sub> + poc	*A <sub>kr</sub> - poc	*D <sub>kr</sub> + poc	*D <sub>kr</sub> - poc	*A <sub>kr</sub> + ust	*A <sub>kr</sub> - ust	*D <sub>kr</sub> + ust	*D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]	M <sub>KA</sub> [Nm]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	-0,7823	-0,48896	-0,99916	-0,99916	-3,34608	-3,34608	-0,49661	-0,7823	-0,7823	-3,34608	-3,34608	-0,7823	-0,7823	-3,34608	-3,34608
7,398	-3,14759	-1,96733	-4,02012	-4,02012	-13,463	-13,463	-2,76721	-4,73197	-1,24867	-15,7551	-10,2739	-4,73197	-1,24867	-15,7551	-10,2739
7,271	-7,36944	-4,6061	-9,41229	-9,41229	-31,5208	-31,5208	-8,12731	-14,4747	1,146422	-41,8001	-17,2192	-14,4747	1,146422	-41,8001	-17,2192
7,094	-13,8392	-8,64985	-17,6755	-17,6755	-59,1934	-59,1934	-16,3413	-29,4049	4,816756	-81,7125	-27,8625	-29,4049	4,816756	-81,7125	-27,8625
6,868	-23,134	-14,4593	-29,5468	-29,5468	-98,9493	-98,9493	-28,142	-50,8543	10,08975	-139,053	-43,1533	-50,8543	10,08975	-139,053	-43,1533
6,596	-35,9612	-22,4767	-45,9298	-45,9298	-153,814	-153,814	-44,4276	-80,4557	17,36674	-218,185	-64,2552	-80,4557	17,36674	-218,185	-64,2552
6,279	-53,329	-33,332	-68,1121	-68,1121	-228,1	-228,1	-66,4778	-120,535	27,21962	-325,328	-92,8268	-120,535	27,21962	-325,328	-92,8268
5,919	-76,4695	-47,7954	-97,6672	-97,6672	-327,078	-327,078	-95,8571	-173,936	40,3474	-468,084	-130,895	-173,936	40,3474	-468,084	-130,895
5,518	-106,914	-66,8242	-136,552	-136,552	-457,297	-457,297	-134,51	-244,194	57,61899	-655,901	-180,979	-244,194	57,61899	-655,901	-180,979
5,08	-146,254	-91,4127	-186,797	-186,797	-625,563	-625,563	-184,456	-334,978	79,93679	-898,592	-245,697	-334,978	79,93679	-898,592	-245,697
4,607	-196,464	-122,795	-250,925	-250,925	-840,323	-840,323	-248,203	-450,847	108,4214	-1208,34	-328,297	-450,847	108,4214	-1208,34	-328,297
4,102	-256,922	-160,583	-328,142	-328,142	-1098,92	-1098,92	-324,961	-549,267	93,4611	-1521,85	-510,481	-549,267	93,4611	-1521,85	-510,481
3,57	-325,083	-203,186	-415,198	-415,198	-1390,46	-1390,46	-411,499	-617,428	25,3001	-1813,39	-802,021	-617,428	25,3001	-1813,39	-802,021
3,013	-400,737	-250,471	-511,823	-511,823	-1714,04	-1714,04	-507,549	-693,081	-50,3534	-2136,98	-1125,61	-693,081	-50,3534	-2136,98	-1125,61
2,435	-483,993	-302,508	-618,159	-618,159	-2070,15	-2070,15	-613,252	-776,338	-133,61	-2493,09	-1481,72	-776,338	-133,61	-2493,09	-1481,72
1,841	-574,672	-359,185	-733,975	-733,975	-2458,01	-2458,01	-728,379	-867,017	-224,289	-2880,95	-1869,57	-867,017	-224,289	-2880,95	-1869,57
1,234	-672,91	-420,586	-859,444	-859,444	-2878,19	-2878,19	-853,101	-965,254	-322,526	-3301,13	-2289,76	-965,254	-322,526	-3301,13	-2289,76
0,619	-778,352	-486,49	-994,115	-994,115	-3329,19	-3329,19	-986,971	-1070,7	-427,968	-3752,13	-2740,76	-1070,7	-427,968	-3752,13	-2740,76
0	-890,6	-556,648	-1137,48	-1137,48	-3809,3	-3809,3	-1092,87	-1182,94	-540,217	-4232,24	-3220,87	-1182,94	-540,217	-4232,24	-3220,87

## Příloha 11

Krouticí moment od hmotového zatížení pro  $m_{TOW}$ :

krouticí moment od hmotového zatížení	A	G	B+	B-	D+	D-	F	A <sub>K+</sub> poc	A <sub>K-</sub> poc	D <sub>K+</sub> poc	D <sub>K-</sub> poc	A <sub>K+</sub> ust	A <sub>K-</sub> ust	D <sub>K+</sub> ust	D <sub>K-</sub> ust
γ[m]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	0,309092	-0,21287	0,313466	-0,19683	0,270543	-0,1539	0,233277	0,370285	0,041449	0,34129	-0,02986	0,205867	0,205867	0,155712	0,155712
7,398	1,258344	-0,8666	1,276151	-0,8013	1,101407	-0,62656	0,949694	1,504029	0,17218	1,385542	-0,1177	0,838105	0,838105	0,633921	0,633921
7,271	3,004749	-2,06931	3,047269	-1,9134	2,630006	-1,49614	2,267735	3,577537	0,425015	3,292821	-0,26539	2,001276	2,001276	1,513713	1,513713
7,094	5,780414	-3,98085	5,862212	-3,68092	5,059498	-2,87821	4,362576	6,844598	0,855349	6,292019	-0,46798	3,849974	3,849974	2,91202	2,91202
6,868	9,930826	-6,83915	10,07136	-6,32388	8,692284	-4,9448	7,494963	11,67496	1,553651	10,71479	-0,70902	6,614305	6,614305	5,002888	5,002888
6,596	15,89715	-10,948	16,12211	-10,1232	13,91451	-7,91558	11,99785	18,52396	2,65225	16,96568	-0,94854	10,5881	10,5881	8,008567	8,008567
6,279	24,2578	-16,7058	24,60108	-15,4472	21,23244	-12,0786	18,30778	27,96674	4,346487	25,5504	-1,10952	16,15661	16,15661	12,22044	12,22044
5,919	35,7945	-24,6509	36,30103	-22,7937	31,33032	-17,823	27,01472	40,75601	6,924973	37,12468	-1,06003	23,84049	23,84049	18,03233	18,03233
5,518	51,39375	-35,3938	52,12102	-32,7272	44,98408	-25,5902	38,78774	57,6844	10,77595	52,36334	-0,58171	34,23018	34,23018	25,89081	25,89081
5,08	71,98775	-49,5765	73,00645	-45,8413	63,00966	-35,8445	54,33038	79,50309	16,39002	71,88304	0,648017	47,94656	47,94656	36,26553	36,26553
4,607	98,77102	-68,0216	100,1687	-62,8966	86,4526	-49,1805	74,54417	107,133	24,43745	96,427	3,089459	65,78523	65,78523	49,75823	49,75823
4,102	158,7717	-109,343	161,0184	-101,105	138,9701	-79,0563	119,8277	165,5176	45,97823	147,4463	12,52359	105,7479	105,7479	79,98497	79,98497
3,57	259,3945	-178,64	263,0652	-165,18	227,0436	-129,159	195,7694	260,4302	85,1029	229,6211	31,73113	172,7665	172,7665	130,6761	130,6761
3,013	371,7019	-255,983	376,9618	-236,697	325,3444	-185,079	280,5297	362,3035	132,8314	316,7549	57,75229	247,5675	247,5675	187,2536	187,2536
2,435	495,1629	-341,008	502,1699	-315,316	433,4077	-246,554	373,7079	469,6751	189,9192	407,3287	91,5713	329,7972	329,7972	249,45	249,45
1,841	629,9109	-433,807	638,8247	-401,122	551,3503	-313,648	475,4044	581,7913	257,2975	500,4587	134,2062	419,5444	419,5444	317,3324	317,3324
1,234	776,1337	-534,507	787,1167	-494,236	679,3366	-386,456	585,7613	697,9173	335,9513	595,2691	186,7222	516,9343	516,9343	390,9956	390,9956
0,619	932,6739	-642,288	945,8356	-593,897	816,3221	-464,383	703,8777	816,191	426,1531	689,9541	249,7226	621,172	621,172	469,8383	469,8383
0	1051,168	-723,918	1066,043	-669,376	920,0697	-523,402	793,3345	903,6697	496,5657	759,2977	299,8039	700,1177	700,1177	529,5508	529,5508

Krouticí moment od hmotového zatížení pro  $m_{ZFW}$ :

krouticí moment od hmotového zatížení	*A	*G	*B+	*B-	*D+	*D-	*F	*A <sub>K+</sub> poc	*A <sub>K-</sub> poc	*D <sub>K+</sub> poc	*D <sub>K-</sub> poc	*A <sub>K+</sub> ust	*A <sub>K-</sub> ust	*D <sub>K+</sub> ust	*D <sub>K-</sub> ust
γ[m]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]	M <sub>KG</sub> [Nm]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	0,309092	-0,15455	0,337668	-0,22103	0,313758	-0,19712	0,233277	0,370281	0,041453	0,390126	-0,0787	0,205867	0,205867	0,155712	0,155712
7,398	1,258344	-0,62917	1,374682	-0,89983	1,277338	-0,80249	0,949694	1,50401	0,1722	1,583337	-0,3155	0,838105	0,838105	0,633921	0,633921
7,271	3,004749	-1,50237	3,282546	-2,14868	3,050103	-1,91624	2,267735	3,577491	0,425061	3,761007	-0,73358	2,001276	2,001276	1,513713	1,513713
7,094	5,780414	-2,89021	6,314829	-4,13354	5,867665	-3,68638	4,362576	6,844511	0,855436	7,181492	-1,35745	3,849974	3,849974	2,91202	2,91202
6,868	9,930826	-4,96541	10,84896	-7,10148	10,08073	-6,33324	7,494963	11,67481	1,553798	12,21792	-2,21215	6,614305	6,614305	5,002888	5,002888
6,596	15,89715	-7,94858	17,36689	-11,368	16,13711	-10,1382	11,99785	18,52373	2,652481	19,32281	-3,30568	10,5881	10,5881	8,008567	8,008567
6,279	24,2578	-12,1289	26,50051	-17,3466	24,62396	-15,4701	18,30778	27,9664	4,34683	29,05828	-4,6174	16,15661	16,15661	12,22044	12,22044
5,919	35,7945	-17,8973	39,10381	-25,5964	36,3348	-22,8274	27,01472	40,75552	6,925464	42,14899	-6,08434	23,84049	23,84049	18,03233	18,03233
5,518	51,39375	-25,6969	56,14525	-36,7514	52,16951	-32,7756	38,78774	57,68372	10,77663	59,32979	-7,54816	34,23018	34,23018	25,89081	25,89081
5,08	71,98775	-35,9939	78,64322	-51,478	73,07436	-45,9092	54,33038	79,50218	16,39094	81,25607	-8,72501	47,94656	47,94656	36,26553	36,26553
4,607	98,77102	-49,3855	107,9027	-70,6306	100,2619	-62,9898	74,54417	107,1318	24,43866	108,7083	-9,1918	65,78523	65,78523	49,75823	49,75823
4,102	127,015	-63,5075	138,7578	-90,8277	128,9322	-81,002	95,86034	135,1097	34,08381	136,0058	-8,03224	84,59675	84,59675	63,98678	63,98678
3,57	157,8751	-78,9376	172,4711	-112,896	160,2581	-100,683	119,151	164,5267	45,77491	164,1887	-5,12207	105,1508	105,1508	79,53331	79,53331
3,013	192,8482	-96,4241	210,6776	-137,905	195,7591	-122,986	145,5458	196,6694	60,21895	194,4242	-0,12055	128,4442	128,4442	97,15183	97,15183
2,435	231,7291	-115,865	253,1531	-165,708	235,2269	-147,782	174,8899	230,9884	77,69233	226,0202	7,457822	154,3403	154,3403	116,739	116,739
1,841	274,7586	-137,379	300,1608	-196,478	278,9059	-175,223	207,365	267,3979	98,60129	258,7473	18,08493	182,9996	182,9996	138,4161	138,4161
1,234	322,1169	-161,058	351,8975	-230,344	326,9791	-205,426	243,1071	305,7165	123,3675	292,2664	32,28162	214,542	214,542	162,274	162,274
0,619	373,464	-186,732	407,9919	-267,062	379,1012	-238,171	281,8597	345,3009	152,1814	325,8118	50,47089	248,7412	248,7412	188,1413	188,1413
0	428,688	-214,344	468,3214	-306,552	435,1588	-273,39	323,5381	385,7599	185,2849	358,8757	73,0477	285,5224	285,5224	215,9617	215,9617

## Příloha 12

Výsledný krouticí moment pro  $m_{TOW}$ :

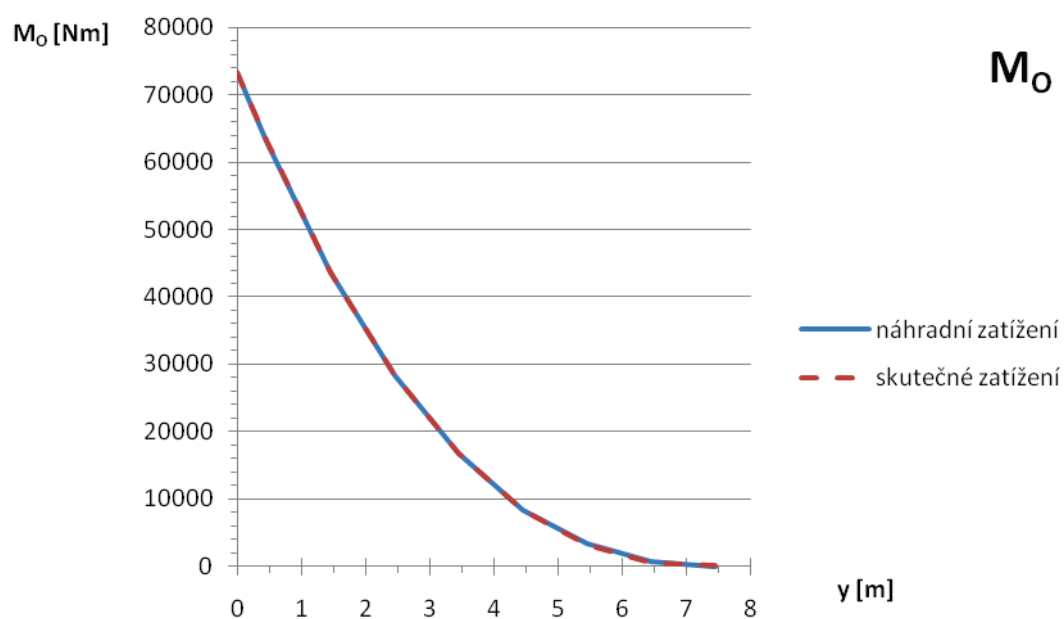
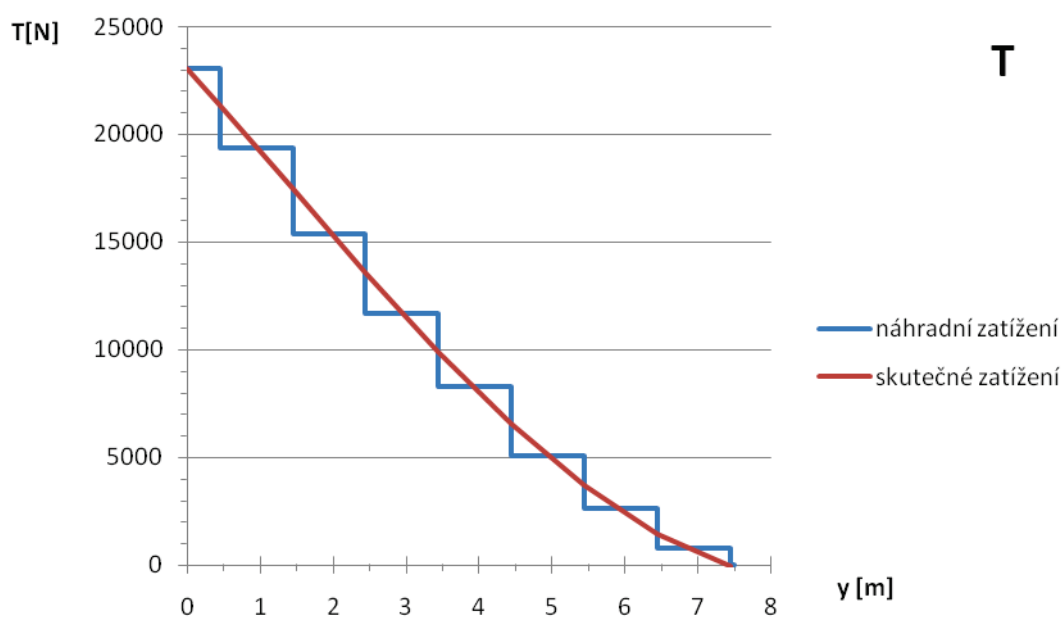
Výsledný krouticí moment	A	G	B+	B-	D+	D-	F	A <sub>kr</sub> + poc	A <sub>kr</sub> - poc	D <sub>kr</sub> + poc	D <sub>kr</sub> - poc	A <sub>kr</sub> + ust	A <sub>kr</sub> - ust	D <sub>kr</sub> + ust	D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	-0,6791	-0,83045	-0,89551	-1,40581	-3,07553	-3,49998	-0,3903	-0,61791	-0,94675	-3,00479	-3,37594	-0,78233	-0,78233	-3,19037	-3,19037
7,398	-2,71767	-3,35147	-3,58819	-5,66565	-12,3616	-14,0895	-2,52502	-4,47336	-1,40513	-14,3696	-10,3916	-5,13929	-0,73921	-15,1212	-9,64
7,271	-6,30429	-7,88714	-8,3416	-13,3023	-28,8908	-33,017	-7,93749	-14,7068	1,87317	-38,5073	-17,4846	-16,2831	3,44943	-40,2864	-15,7055
7,094	-11,7012	-14,9062	-15,5251	-25,0683	-54,1339	-62,0716	-16,1568	-30,2995	6,93985	-75,4205	-28,3305	-33,2941	9,934474	-78,8005	-24,9505
6,868	-19,2919	-25,1023	-25,6803	-42,0755	-90,257	-103,894	-27,8422	-52,564	14,29897	-128,338	-43,8623	-57,6246	19,35962	-134,05	-38,1504
6,596	-29,5288	-39,3377	-39,453	-65,6983	-139,9	-161,73	-43,7886	-83,1072	24,58982	-201,219	-65,2038	-91,0431	32,52568	-210,176	-56,2467
6,279	-43,1071	-58,8066	-57,8145	-97,8628	-206,868	-240,179	-65,1665	-124,293	38,73016	-299,778	-93,9363	-136,103	50,54029	-313,108	-80,6063
5,919	-60,8013	-85,0201	-81,8763	-140,971	-295,747	-344,901	-93,3503	-178,959	57,89159	-430,959	-131,955	-195,875	74,80711	-450,052	-112,863
5,518	-83,6598	-119,798	-113,106	-197,954	-412,313	-482,888	-130,113	-250,78	83,55994	-603,537	-181,561	-274,234	107,0142	-630,01	-155,089
5,08	-112,76	-165,037	-153,017	-271,865	-562,553	-661,408	-177,286	-343,639	117,3657	-826,709	-245,049	-375,196	148,9223	-862,326	-209,432
4,607	-149,402	-223,121	-203,451	-366,516	-753,871	-889,504	-237,117	-462,375	161,3947	-1111,92	-325,208	-503,723	202,7425	-1158,58	-278,539
4,102	-165,771	-312,171	-236,034	-498,157	-959,946	-1177,97	-288,216	-528,313	164,0378	-1374,41	-497,957	-588,083	223,8075	-1441,87	-430,496
3,57	-151,249	-435,278	-239,324	-667,57	-1163,41	-1519,62	-320,937	-519,501	117,0618	-1583,77	-770,29	-607,165	204,7255	-1682,72	-671,345
3,013	-134,507	-572,347	-242,344	-856,003	-1388,7	-1899,12	-356,785	-513,193	69,22523	-1820,23	-1067,86	-627,929	183,9613	-1949,73	-938,356
2,435	-116,215	-723,099	-245,802	-1063,29	-1636,74	-2316,71	-396,335	-510,99	21,14385	-2085,76	-1390,15	-650,868	161,0218	-2243,64	-1232,27
1,841	-96,0123	-887,484	-249,285	-1289,23	-1906,66	-2771,66	-439,2	-513,42	-26,0233	-2380,49	-1735,37	-675,667	136,2236	-2563,61	-1552,24
1,234	-73,8821	-1065,74	-252,81	-1534,16	-2198,85	-3264,65	-485,453	-521,386	-71,4621	-2705,86	-2103,03	-702,369	109,5209	-2910,13	-1898,76
0,619	-50,5718	-1256,76	-257,043	-1796,78	-2512,87	-3793,57	-535,433	-536,306	-114,454	-3062,18	-2491,03	-731,325	80,56464	-3282,29	-2270,92
0	-73,8328	-1427,01	-310,306	-2045,73	-2889,23	-4332,71	-578,95	-590,619	-185,833	-3472,94	-2921,06	-794,171	17,71894	-3702,69	-2691,32

Výsledný krouticí moment pro  $m_{ZFW}$ :

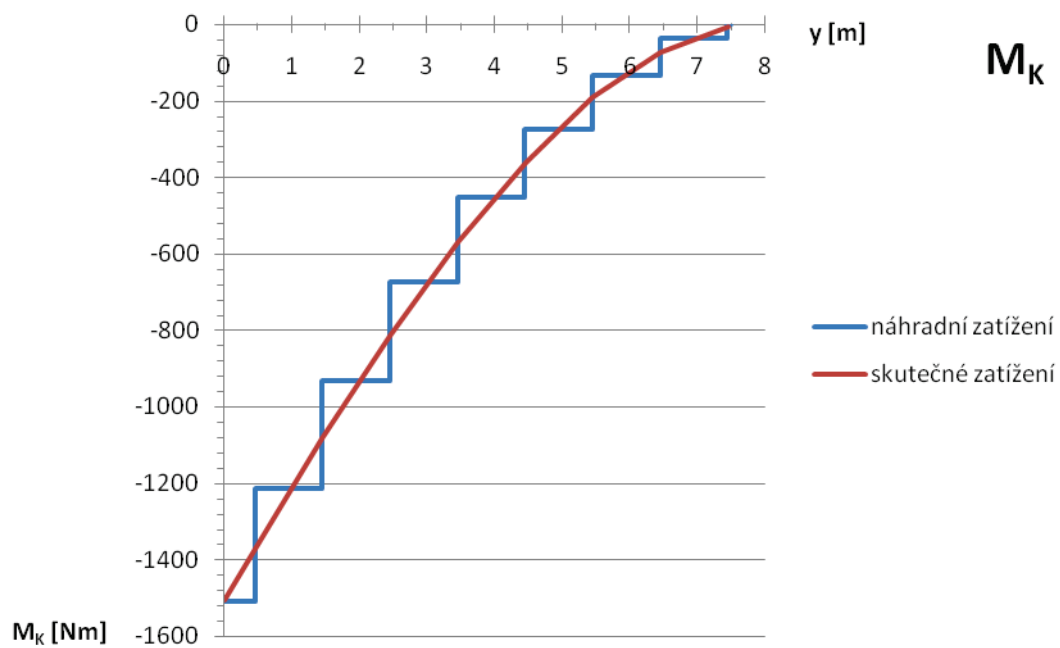
Výsledný krouticí moment	*A	*G	*B+	*B-	*D+	*D-	*F	*A <sub>kr</sub> + poc	*A <sub>kr</sub> - poc	*D <sub>kr</sub> + poc	*D <sub>kr</sub> - poc	*A <sub>kr</sub> + ust	*A <sub>kr</sub> - ust	*D <sub>kr</sub> + ust	*D <sub>kr</sub> - ust
γ[m]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]	M <sub>k</sub> [Nm]
7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,474	-0,47321	-0,6435	-0,66149	-1,22019	-3,03232	-3,5432	-0,26333	-0,41202	-0,74085	-2,95595	-3,42478	-0,57643	-0,57643	-3,19037	-3,19037
7,398	-1,88925	-2,5965	-2,64544	-4,91995	-12,1856	-14,2655	-1,81752	-3,22796	-1,07647	-14,1718	-10,5894	-3,89386	-0,41056	-15,1212	-9,64
7,271	-4,36469	-6,10847	-6,12975	-11,561	-28,4707	-33,4371	-5,85957	-10,8972	1,571483	-38,0391	-17,9528	-12,4734	3,147698	-40,2864	-15,7055
7,094	-8,05877	-11,5401	-11,3607	-21,809	-53,3257	-62,8798	-11,9788	-22,5604	5,672193	-74,531	-29,22	-25,5549	8,66673	-78,8005	-24,9505
6,868	-13,2031	-19,4247	-18,6978	-36,6483	-88,8686	-105,283	-20,6471	-39,1795	11,64355	-126,835	-45,3654	-44,24	16,70405	-134,05	-38,1504
6,596	-20,064	-30,4253	-28,5629	-57,2978	-137,677	-163,953	-32,4297	-61,9319	20,01922	-198,862	-67,5609	-69,8676	27,95485	-210,176	-56,2467
6,279	-29,0712	-45,4609	-41,6115	-85,4587	-203,476	-243,571	-48,17	-92,5688	31,56645	-296,27	-97,4442	-104,379	43,37623	-313,108	-80,6063
5,919	-40,675	-65,6927	-58,5634	-123,264	-290,743	-349,905	-68,8424	-133,181	47,27287	-425,935	-136,979	-150,096	64,18789	-450,052	-112,863
5,518	-55,5205	-92,5211	-80,4063	-173,303	-405,128	-490,073	-95,7223	-186,51	68,39562	-596,571	-188,528	-209,963	91,84916	-630,01	-155,089
5,08	-74,2664	-127,407	-108,153	-238,275	-552,489	-671,472	-130,126	-255,476	96,32773	-817,336	-254,422	-287,031	127,8833	-862,326	-209,432
4,607	-97,6932	-172,181	-143,022	-321,556	-740,061	-903,313	-173,659	-343,716	132,86	-1099,63	-337,489	-385,062	174,2066	-1158,58	-278,539
4,102	-129,907	-224,091	-189,385	-418,97	-969,984	-1179,92	-229,101	-414,157	127,5449	-1385,85	-518,513	-464,67	178,0578	-1457,87	-446,494
3,57	-167,208	-282,123	-242,727	-528,094	-1230,2	-1491,14	-292,348	-452,901	71,07501	-1649,21	-807,143	-512,277	130,4509	-1733,86	-722,488
3,013	-207,889	-346,895	-301,146	-649,728	-1518,29	-1837,03	-362,003	-496,412	9,865498	-1942,56	-1125,73	-564,637	78,09073	-2039,83	-1028,46
2,435	-252,264	-418,373	-365,006	-783,867	-1834,92	-2217,93	-438,362	-545,349	-55,9176	-2267,07	-1474,26	-621,997	20,73038	-2376,35	-1364,98
1,841	-299,914	-496,565	-433,814	-930,453	-2179,1	-2633,23	-521,014	-599,619	-125,688	-2622,2	-1851,49	-684,017	-41,2895	-2742,53	-1731,16
1,234	-350,793	-581,645	-507,546	-1089,79	-2551,21	-3083,62	-609,994	-659,537	-199,159	-3008,86	-2257,47	-750,712	-107,984	-3138,85	-2127,48
0,619	-404,888	-673,222	-586,123	-1261,18	-2950,09	-3567,36	-705,111	-725,395	-275,787	-3426,32	-2690,29	-821,955	-179,227	-3563,99	-2552,61
0	-461,912	-770,992	-669,157	-1444,03	-3374,14	-4082,69	-769,331	-797,184	-354,932	-3873,37	-3147,82	-897,422	-254,694	-4016,28	-3004,91

## Příloha 13

Porovnání skutečného a náhradního zatížení pro případ B+

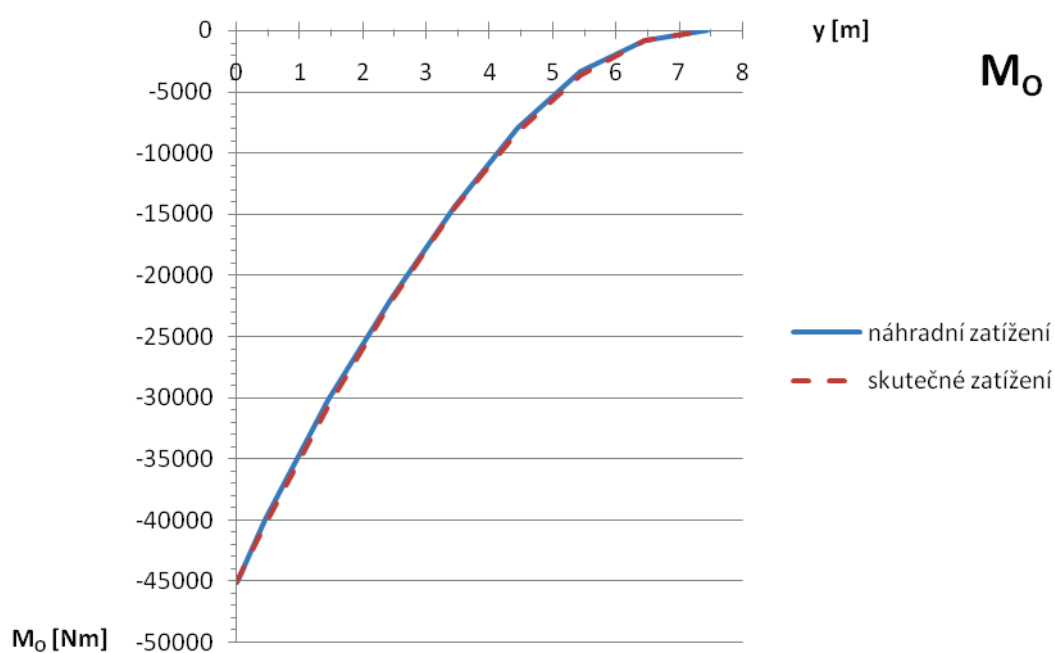
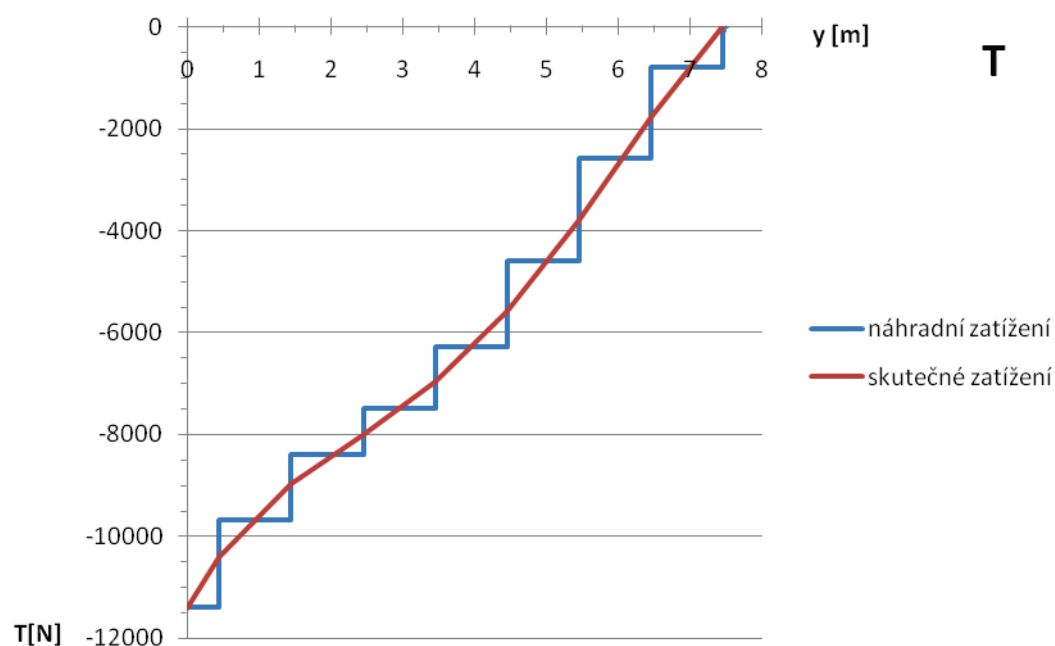


## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22

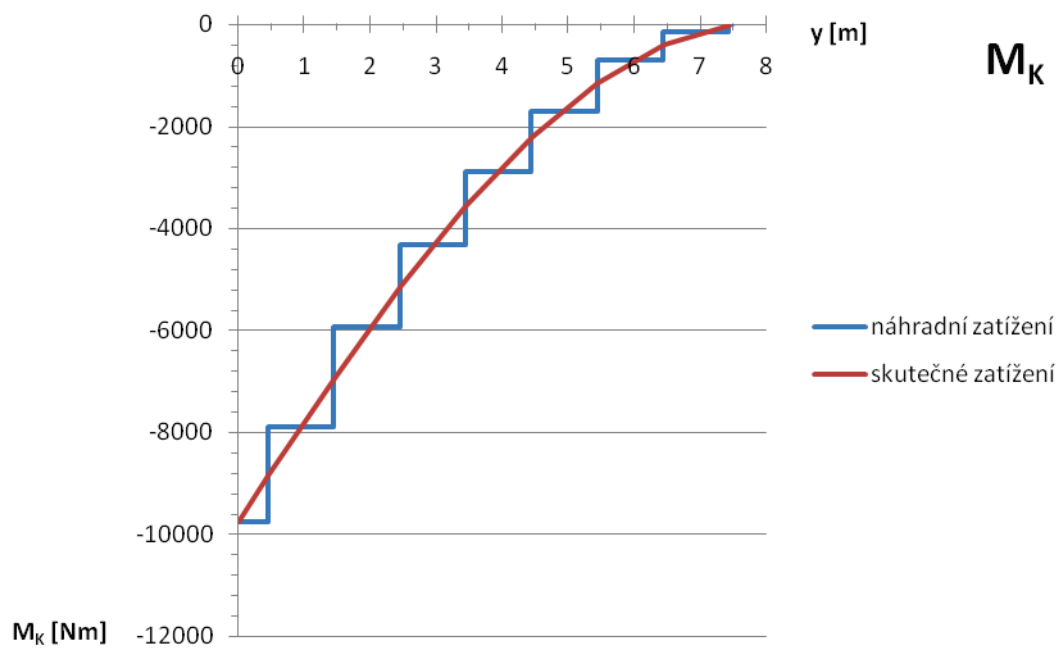


## Příloha 14

Porovnání skutečného a náhradního zatížení pro případ D-



## Návrh letounu VUT 022 s proudovým pohonem dle předpisu CS-22



**Příloha 15**

Třípohledový výkres letounu VUT 022

